

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR**

**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE MEDIOS CONTÍNUOS Y TEORÍA DE
ESTRUCTURAS.**



TRABAJO FIN DE GRADO

**ANÁLISIS DEL CONTROL DE CALIDAD DE
TORNILLOS AUTOTALADRANTES**

AUTOR: ALEJANDRO LÓPEZ GARCÍA-SOLÍS

TUTOR: JESÚS PERNAS SÁNCHEZ

COTUTOR: JOSÉ ALFONSO ARTERO GUERRERO

*A mis padres y hermanos,
por su inestimable paciencia a la hora de aguantarme durante toda la
carrera.*

*A mis primeros jefes Carlos y Luis,
por todo lo que me han enseñado.*

*A mi novia,
por todo su apoyo.*

*Y como no a mis amigos,
porque nunca pensaron que llegaría hasta aquí.*

ÍNDICE

Resumen.....	10
Abstract.....	11
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS:.....	12
1.1 OBJETIVO:.....	12
2 ANTECEDENTES.....	13
3 DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS EXPERIMENTALES:	15
3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS TORNILLOS A ENSAYAR:	15
3.1.1 Tornillos autorroscantes.	15
3.1.2 Tornillos autotaladrantes.....	15
3.2 INSPECCIÓN DIMENSIONAL:	17
3.2.1 Diámetro de la rosca (d).	17
3.2.2 Diámetro de la broca (b).....	17
3.2.3 Longitud del tornillo (L).....	18
3.2.4 Distancia entre caras (s).....	19
3.2.5 Altura de la cabeza (k).....	19
3.3 ENSAYO DE AUTOTALADRO.....	19
3.3.1 Dispositivo de ensayo.	19
3.3.2 Procedimiento.....	21
3.4 ENSAYO DE TORSIÓN.....	23
3.4.1 Dispositivo de ensayo.	23
3.5 ENSAYO DE CIZALLADURA.....	27
3.5.1 Proceso de fabricación del útil de cizalladura:	28
3.6 ENSAYO DE ARRANCAMIENTO.....	32
4 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:	33
4.1 ANÁLISIS DIMENSIONAL.....	35
4.1.1 Diámetro de la rosca:	35
4.1.2 Diámetro de la broca.....	36
4.1.3 Longitud del tornillo.....	37
4.1.4 Distancia entre caras:	39
4.1.5 Altura de la cabeza:.....	39
4.2 ENSAYO DE AUTOTALADRO.....	40
4.2.1 Ensayo de Torsión:	42
4.3 ENSAYO DE CIZALLADURA:	44
4.3.1 Ejemplo de ensayo de cizalladura:.....	46
5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LA NORMATIVA EMPLEADA.....	49
5.1 NORMA UNE.....	49
5.1.1 Objeto y Campo de Aplicación.	49
5.1.2 Normas para consulta:	49
5.1.3 Requisitos:.....	49
5.1.4 Ensayos.	50
5.1.5 Llaves dinamométricas.	54
5.1.6 Referencias normativas a normas internacionales con sus correspondientes normas europeas.	55
5.1.7 Códigos del ámbito normativo nacional.	55
5.2 CRÍTICA DE LA NORMA:	56
5.2.1 Objeto y campo de aplicación.....	56
5.2.2 Mejora de ensayos mencionados en la norma.	56
5.2.3 Conclusión.....	58

5.3	NORMA DIN	59
5.3.1	<i>Campo de aplicación:</i>	59
5.3.2	<i>Medidas, designación:</i>	59
5.4	NORMA AISI:	63
5.4.1	<i>Ensayo de cizalladura:</i>	63
5.4.2	<i>Ensayo de arrancamiento:</i>	65
6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS:	69
6.1	CONCLUSIÓN:	69
6.2	TRABAJOS FUTUROS:	70
7	BIBLIOGRAFÍA	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

<i>Ilustración 1: Tornillo sin fin Arquímedes de Siracusa.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 2: Tornillo autorroscante.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 3: Tornillo autotaladrante.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 4: Tornillo bimetal cabeza hexagonal.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 5: Broca número 3.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 6: Medida correcta de longitud.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 7: Medida errónea de longitud.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 8: Dispositivo de autotaladro.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 9: Medidas de seguridad.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 10: Preparación ensayo autotaladro.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 11: Indicadores de la máquina.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 12: Inspección autotaladro.....</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 13: Placas endurecidas</i>	<i>Ilustración 14: Placas sujetas en la caja..... 23</i>
<i>Ilustración 15: Atornillando con la herramienta de BOSCH.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 16: Llave dinamométrica.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 17: Rotura de la cabeza del tornillo.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 18: Tipos de rotura en torsión.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 19: Esquema ensayo cizalladura.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 20: Máquina de tracción uniaxial.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 21: Barra de acero.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 22: Corte de la placa.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 23: Placa soldada.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 24: Taladro de orificios.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 25: Calentamiento y enfriamiento del acero.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 26: Útil de cizalladura.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 27: Máquina de arrancamiento.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 28: Útiles de arrancamiento.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 29: Esquema sección tornillo.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 30: Tornillo TXS110.....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 31: Dispositivo de fijación para el ensayo de taladro y roscado.....</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 32: Dispositivo para el ensayo de taladrado.....</i>	<i>53</i>
<i>Ilustración 33: Dispositivo para el ensayo de torsión.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 34: Procedimiento correcto.....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 35: Procedimiento según norma (Incorrecto).....</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 36: Cabeza Hexagonal.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 37 Vaso 8 mm (interior)</i>	<i>Ilustración 38: Vaso 8mm (exterior)..... 60</i>
<i>Ilustración 39: Ensayo de cizalladura.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 40: Fallos por cortadura.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 41: Dispositivos de ensayo de arrancamiento.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 42: Dispositivo de arrancamiento estándar.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 43: Arrancamiento por gancho.....</i>	<i>68</i>

ÍNDICE TABLAS

<i>Tabla 1: Leyenda tornillo autotaladrante.</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2: Muestras para control de calidad.</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3: Leyenda autotaladro.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4: Número asignado a cada tornillos.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5: Datos ensayo de autotaladro.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 6: Ensayo de Torsión.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 7: Ensayo de cizalladura.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 8: Módulo de elasticidad.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 9: Profundidad de cementado.</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 10: Datos para el ensayo de taladro y roscado.</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 11: Datos para el ensayo de taladrado.</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 12: Resistencia mínima a torsión.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 13: Referencias normativas.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 14: Normas.</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 15: Ejemplo tabla correcta.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 16: Tolerancias de los tornillos.</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 17: Tolerancias geométricas.</i>	<i>64</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1: Diámetro de la rosca.....</i>	<i>36</i>
<i>Gráfico 2: Diámetro de la broca.....</i>	<i>37</i>
<i>Gráfico 3: Longitud de (0-40)mm.....</i>	<i>38</i>
<i>Gráfico 4: Longitud de (41-120).....</i>	<i>38</i>
<i>Gráfico 5: Distancia entre caras.....</i>	<i>39</i>
<i>Gráfico 6: Altura de la cabeza.....</i>	<i>40</i>
<i>Gráfico 7: Ensayo de autotaladro.....</i>	<i>41</i>
<i>Gráfico 8: Ensayo de Torsión.....</i>	<i>43</i>
<i>Gráfico 9: Ensayo de Torsión.....</i>	<i>45</i>
<i>Gráfico 10: Fuerza Vs desplazamiento.....</i>	<i>46</i>

RESUMEN

La empresa ETANCO S.A. lleva más de 30 años dedicada a la venta y suministro de fijaciones, arandelas, tuercas y remaches. Se ha estudiado la fase del control de calidad de esta pyme para su posterior análisis y comprobación de los tornillos.

Se ha implementado la informatización de este proceso con la ayuda de tablas Excel. Para ello, ha sido necesario el estudio de los diferentes ensayos mecánicos y medición de tolerancias dimensionales.

Se ha utilizado normativa vigente en el ámbito europeo, así como su comparación y crítica respecto a otras normativas aplicables en diferentes países.

La finalidad de este proyecto, es asesorar a una empresa real hacia la meta de alcanzar cero defectos en toda su gama de productos. Premisa importante hacia la consecución de una mejora de la fiabilidad de los clientes.

“Preocúpate por la calidad de tus productos, mucha gente no está preparada para la excelencia y sorprenderás” (Steve Jobs, 2009).

Palabras clave: Tornillo, fijación, ensayo mecánico, análisis dimensional, norma, calidad, defectos.

ABSTRACT

ETANCO S.A. Company has been dedicating more than 30 years to the sale and supply of screw fixations, washers, nuts and rivets. The quality of the Company's control phase for later analysis and control of the screws have been studied.

The computerization of this process with the help of Excel tables have been implemented. To do this, it was necessary, the study of various mechanical tests and dimensional tolerance measurements.

Current standards have been used at European level, as well as its comparison and criticism regarding other applicable regulations in different countries.

The purpose of this project, is to assist a real Company towards the goal of achieving zero defects in all its range of products. The attainment of an improvement in the reliability with customer service is the main objective nowadays.

"Be a yardstick of quality. Some people aren't used to an environment where excellence is expected." (Steve Jobs,2009)

Keywords: Screw, fixation, mechanical test, dimensional tolerance measurement, norma, quality, defects.

1 Introducción y objetivos:

El presente estudio refleja todo lo aprendido en torno al mundo de las fijaciones, dentro de la empresa ETANCO S.A. Este Trabajo Fin de Grado expone los requisitos técnicos que deben cumplir todos los tornillos con los que este tipo de empresas trabajan, así como su aplicación a la normativa vigente.

Este trabajo es fruto de las prácticas desarrolladas en el departamento técnico de calidad de Etanco S.A. del 1 de febrero de 2016 a el 30 de junio de 2016.

1.1 Objetivo:

El objetivo de este trabajo fin de grado, se centra en la descripción de los diferentes ensayos mecánicos aplicados a la tornillería industrial, así como la realización de estos y el análisis y discusión de los mismos. Para el desarrollo de los citados ensayos se hará uso del laboratorio de Etanco S.A., que está dotado de diversas máquinas de ensayos. A su vez, será necesaria la realización del ensayo de cizalladura en el laboratorio de la Universidad Carlos III, ya que es un ensayo de mayor complejidad.

-Objetivos parciales:

-Diseño y fabricación de útiles de ensayo.

- Cálculo de parámetros ingenieriles de los materiales de las fijaciones.

-Recopilación de normativa aplicable en el ámbito nacional e internacional.

En los próximos capítulos se detallarán los antecedentes de los tornillos, la descripción de los ensayos con sus correspondientes resultados, así como la descripción de la normativa y un último capítulo con las conclusiones obtenidas y los futuros trabajos.

2 Antecedentes

Algunos historiadores destacan que ya por el 2500 A.C. aparece un elemento parecido al tornillo, que se utiliza en armas primitivas y como componente de joyería.

El primer registro acerca de la invención del tornillo se remonta al nombre del griego Arquitas de Tarento (430-360) A.C. inventor de la polea, fue el que desarrolló el primer tornillo.

Posteriormente, el físico, ingeniero, inventor, astrónomo y matemático griego, Arquímedes de Siracusa (287-212) A.C. perfeccionó el tornillo e inventó el torno y un tornillo sin fin. Este último le sirvió para trasladar agua a embalses con cierto desnivel (Ver ilustración 1).

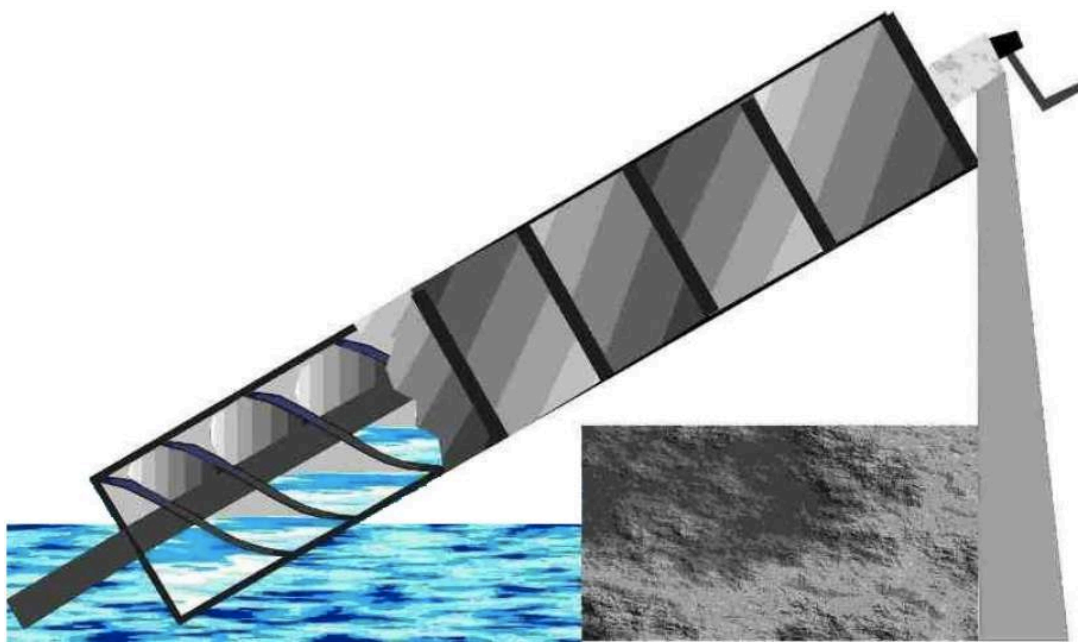


Ilustración 1: Tornillo sin fin Arquímedes de Siracusa.

No fue hasta la revolución industrial un elemento muy usado, principalmente porque debían ser producidos artesanalmente y nunca eran iguales. Llegado el nacimiento de las máquinas, este problema fue solucionado con la producción masiva. El problema radicaba en la dificultad de fabricar tornillos con medidas iguales, era un “caos” conseguir las mismas piezas o en su defecto algo que se pudiera parecer.

En el 1841 el ingeniero y mecánico británico Joseph Whitworth (1803-1887), desarrolló un método de galgas que permitía medir con gran precisión, y fabricó basándose en estas medidas gran cantidad de tornillos. Inventó un sistema de fileteado de rosca distinto al universal, es lo que hoy conocemos por pasos ingleses o también denominados pasos Whitworth.

A partir de este momento es cuando todo lo que resulta armado es más confiable, ya que el tornillo da la seguridad que no se tenía con los clavos o grapas, es mucho más duradero y eficiente.

Hasta aquí esta breve pero milenaria historia del tornillo, pieza fundamental de cualquier mecanismo, aparato o componente y lo que puede ser uno de los mejores inventos de la historia de la humanidad.

3 Descripción de Ensayos experimentales:

3.1 Descripción de los tornillos a ensayar:

Este proyecto se centra en el estudio de los tornillos autotaladrantes y autorroscantes. Este tipo de elementos mecánicos, son designados por su diámetro de rosca y su longitud. Además, en el caso de los autorroscantes se indicará el tipo de broca que portan. También se pueden añadir parámetros como el tipo de material, el recubrimiento e incluso el tipo de huella que utilizan.

Se deben diferenciar estos dos tipos en función de si tienen broca en la punta o no:

3.1.1 Tornillos autorroscantes.

En el mercado se encuentran tornillos tradicionales llamados **autorroscantes**, formados por una punta afilada y un conjunto de filetes a continuación de ésta. Aplicando presión en la cabeza del tornillo se consigue introducir éste en una superficie rígida. En algunas ocasiones será necesario hacer un agujero piloto para que los tornillos sean insertados con mayor facilidad. (Ver ilustración 2).



Ilustración 2: Tornillo autorroscante

3.1.2 Tornillos autotaladrantes

El tornillo autotaladrante consta de una broca en su punta. Ésta abre un orificio en el material para posteriormente roscar el resto del tallo. Para introducir este tipo de elementos mecánicos se procede a identificar sus diferentes partes: (Ver ilustración 3) y (tabla 1).

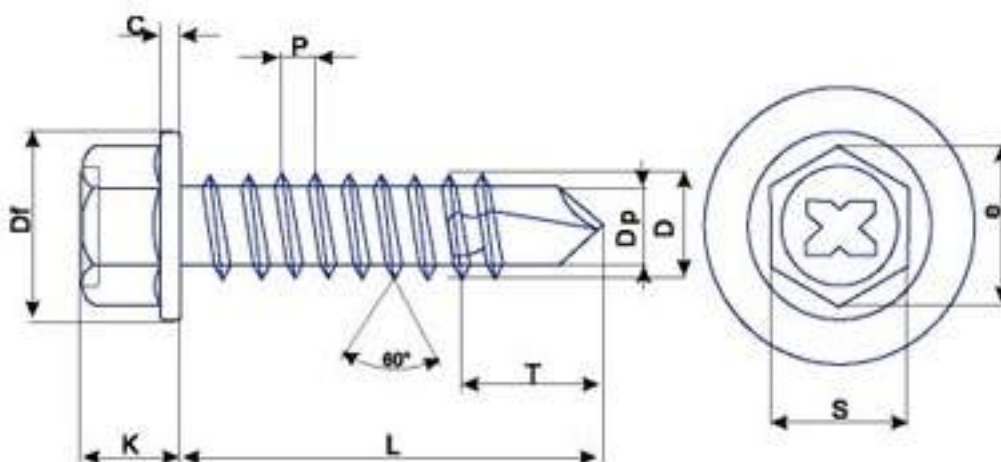


Ilustración 3: Tornillo autotaladrante.

Parámetro	Explicación
s	Distancia entre caras (Clave para determinar la herramienta de roscado)
D_f	Diámetro de la cabeza (Encargado de distribuir la carga del tornillo)
K	Altura de la cabeza (A medida que aumenta se facilita el roscado)
L	Longitud del tornillo ó tallo (Sin contar altura de la cabeza)
D	Diámetro de la rosca (Determina junto a la “L” las características del tornillo)
D_p	Diámetro de la broca (Determina la capacidad de taladro del tornillo)
P	Distancia entre filetes
c	Altura soporte cabeza
T	Longitud de broca
e	Distancia máxima de hexágono de cabeza.

Tabla 1: Leyenda tornillo autotaladrante.

El funcionamiento de una empresa dedicada a la comercialización de tornillos se fundamenta en asegurarse que la calidad de los productos que se venden es correcta. Se debe de tener muy en cuenta si un tornillo reúne las características que indica el fabricante y a su vez, si este cumple la normativa vigente.

En la actualidad los clientes demandan datos y características de los tornillos que se deben de obtener mediante métodos empíricos. La manera más sencilla es la realización de ensayos rutinarios para la consecución de parámetros relevantes y a su vez, confirmar que se cumple la norma y las indicaciones del fabricante.

Se procede a explicar los diferentes ensayos que deben verificar las características de todos los tipos de tornillos:

3.2 Inspección dimensional:

Es la primera fase de comprobación de la calidad de los tornillos, se debe demostrar empíricamente que las fijaciones que envían en grandes lotes los fabricantes, reúnen las características dimensionales oportunas y están dentro de la norma. Para la medición de estos se utiliza un calibre o pie de rey con una precisión mínima de 0,01mm. Se coge una muestra al azar que variará en función del tamaño de lote comprado. (Ver tabla 2).

Tamaño de lote (tornillos)	Muestra al azar (tornillos)
Menos de 50.000	5
Más de 50.000	10

Tabla 2: Muestras para control de calidad.

La gran mayoría de los parámetros del análisis dimensional vienen reflejados en la norma DIN 7504. Esta norma refleja en función del cabezal del tornillo los parámetros dimensionales. Todos los tornillos ensayados son del tipo K ,cabeza hexagonal(Ver ilustración 4).



Ilustración 4: Tornillo bimetálico cabeza hexagonal.

La DIN 7504 reconoce a todos los tornillos autotaladrantes con brocas No2, No3 y No4. Cuando se necesiten saber las tolerancias de las brocas No1 y No5 se debe utilizar la ficha del fabricante para comprobar los parámetros dimensionales. Los parámetros de interés ingenieril son los siguientes:

3.2.1 Diámetro de la rosca (d).

Este parámetro es clave a la hora de clasificar los tornillos. Se nombra por “DxL”, diámetro por longitud. En el mercado se encuentran varios diámetros pero de medidas específicas (2,9; 3,5; 4,2; 4,8; 5,5; 6,3). Como se puede apreciar, no son medidas enteras, esto es debido a las especificaciones de la norma. También se pueden encontrar diámetros de rosca de diferentes medidas, pero son los clientes los que demandan a los fabricantes grandes lotes de un diámetro específico, por supuesto aumentando sus costes.

3.2.2 Diámetro de la broca (b).

Se pueden encontrar en el mercado distintos tipos de broca para un tornillo. En función de sus características se taladra mayor o menor espesor. Se clasifican por capacidad de taladro desde 1mm hasta 12mm. Datos siempre según el fabricante, ya que una vez puestas a prueba pueden llegar a taladrar mucho más espesor del que indica el fabricante. Cabe resaltar que este tipo de brocas presentan una forma característica capaz de eliminar viruta de manera eficiente gracias a su geometría.(Ver ilustración 5).



Ilustración 5: Broca número 3.

3.2.3 Longitud del tornillo (L).

Es importante especificar la forma de medición de este parámetro. Se debe medir la longitud del tallo más la de la broca en caso de tenerla (Ver ilustración 6). No será por tanto válida la medición desde la cabeza (Ver ilustración 7). Es el segundo valor que caracteriza a un tornillo antepuesto por el diámetro de rosca ya mencionado. En función de la aplicación que se requiera, utilizaremos mayor o menor longitud de tornillo.

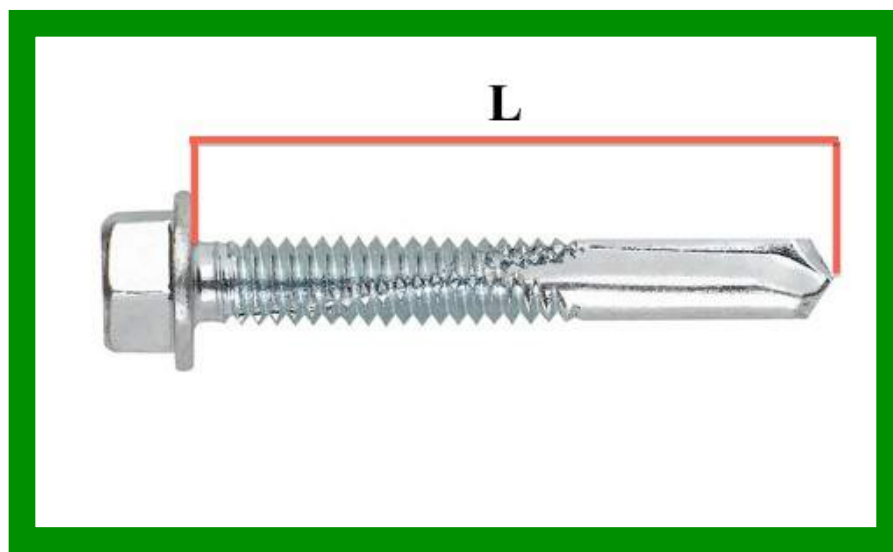


Ilustración 6: Medida correcta de longitud.

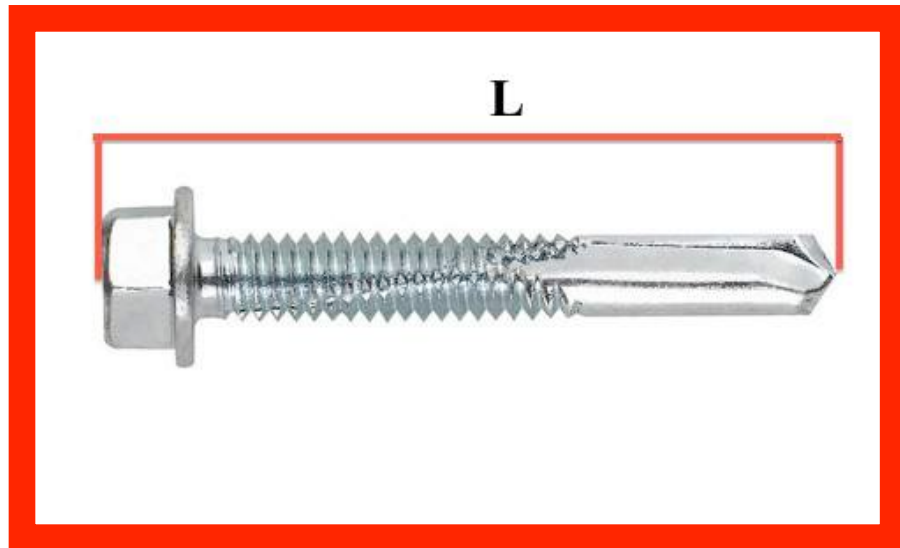


Ilustración 7: Medida errónea de longitud.

3.2.4 Distancia entre caras (s).

Este valor es importante en el proceso de montaje. Sólo aparecerá en tornillos con cabeza hexagonal, ya que otras cabezas circulares no presentan caras. La tolerancia nunca puede ser mayor del valor nominal. Esto es debido a que si se hiciesen tornillos con una distancia entre caras mayor de la nominal, sería imposible apretarlos con la rosca especificada.

3.2.5 Altura de la cabeza (k).

Este parámetro orienta acerca de la profundidad que puede tener la punta del elemento roscante, y a su vez sobre cuánto par de apriete es posible transmitir.

3.3 Ensayo de autotaladro

Con la ayuda de este dispositivo se miden de manera notablemente fiable los tiempos de autotaladro de cada uno de los tornillos.

Se debe de tener en cuenta el espesor de chapa a taladrar en función del diámetro del tornillo y de su tipo de broca. Este parámetro lo fija la norma, aunque en casos excepcionales se pueden medir tiempos de taladro sobre diferentes espesores según requerimientos del cliente.

3.3.1 Dispositivo de ensayo.

1. Se utiliza la máquina diseñada y fabricada por el departamento técnico de la empresa ETANCO S.A(Ver ilustración 8). El dispositivo consta de varios elementos: (Ver tabla 3)

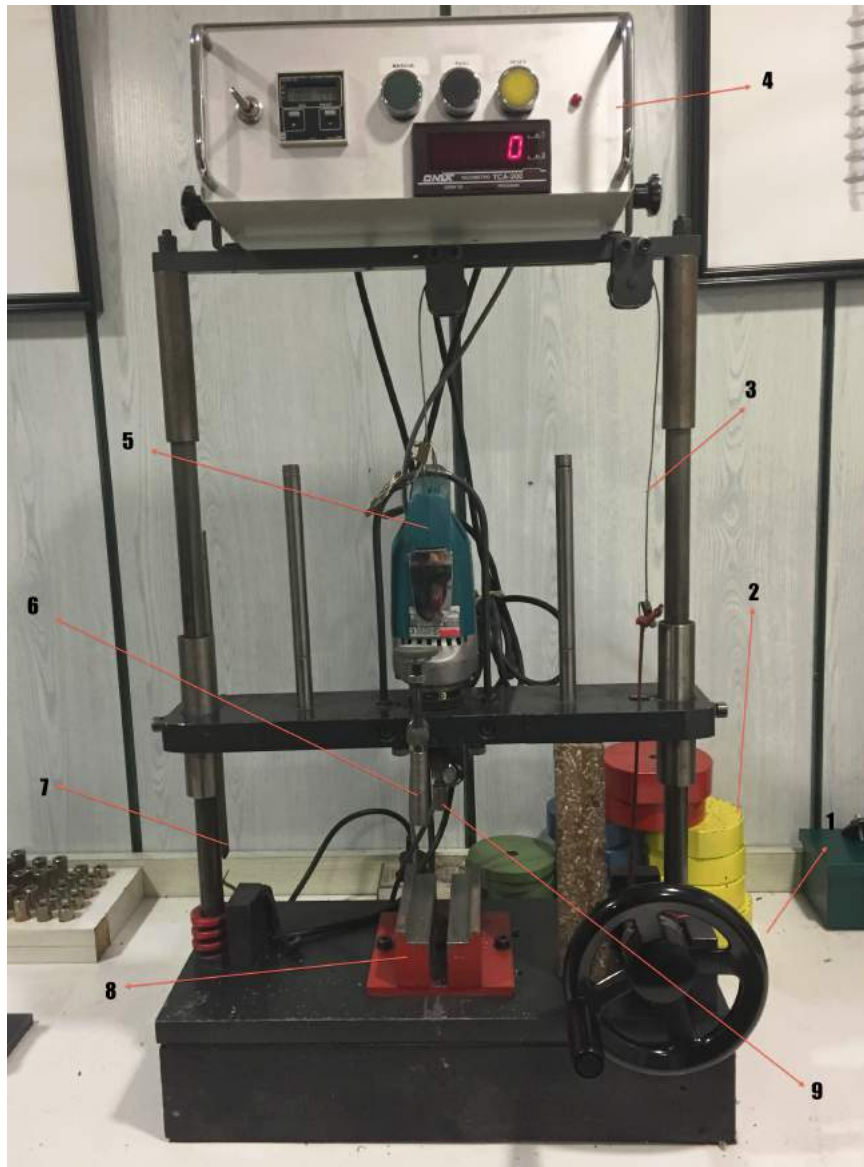


Ilustración 8: Dispositivo de autotaladro.

Número	Elemento
1	Manivela
2	Pesos
3	Cable de sujeción
4	Cuadro de indicadores y activadores
5	Taladro
6	Tope de seguridad
7	Tope (sensor de posición)

8	Soporte de placas
9	Punta de taladro

Tabla 3: Leyenda autotaladro.

3.3.2 Procedimiento.

Se divide en varias etapas para cumplir con los procedimientos de seguridad oportunos y así poder realizarlo lo más preciso posible.

1: Equipamiento con medidas de seguridad específicas. Guantes, gafas y protectores auditivos.(Ver ilustración 9).



Ilustración 9: Medidas de seguridad.

2: Se sitúan los pesos en sus correspondientes varillas en función de los requerimientos de la norma.

3: Elección de espesor de chapa en función del tornillo. El material de la chapa de acero lo especifica la norma.

4: Giro en sentido horario de la manivela para elevar el taladro.

5: Se sitúa la placa sobre su soporte y se introduce el tornillo entre la placa y el atornillador, introduciendo el taladro en la cabeza del tornillo mediante el empleo de un cabezal de las mismas dimensiones que el tornillo.(Ver ilustración 10).



Ilustración 10: Preparación ensayo autotaladro.

6: Se ajusta el tope (sensor de posición) a la máquina para que se pare cuando el tornillo haya roscado y sobresalgan 2 filetes de la placa.

7: Una vez preparado todo y correctamente alineado, se pone en marcha la atornilladora.

8: Cuando el tope toca fondo la máquina se detiene y el indicador de tiempo nos muestra el tiempo de autotaladro. Además el tacómetro de la esquina inferior derecha nos muestra las revoluciones a las que gira la atornilladora. Lo hace con la ayuda de un sensor situado en el cabezal del taladro. (Ver ilustración 11).



Ilustración 11: Indicadores de la máquina.

9: Inspección del agujero taladrado, se comprueba que el tornillo ha roscado y que sobresalen 2 filetes del mismo. (Ver ilustración 12).



Ilustración 12: Inspección autotaladro.

3.4 Ensayo de torsión

3.4.1 Dispositivo de ensayo.

Según especifica la norma este ensayo se debe realizar con un dispositivo de torsión fabricado expresamente para ello. El departamento técnico de ETANCO S.A. ha desarrollado un procedimiento de ensayo acorde con la norma que muestra de manera notablemente precisa la resistencia a torsión.

Los tornillos se introducen en dos placas unidas mediante un bulón y con agujeros con rosca incluida (Ver ilustración 13). Estas placas se introducen en una “caja” de acero que encastra por completo la placa y no permite movimientos.

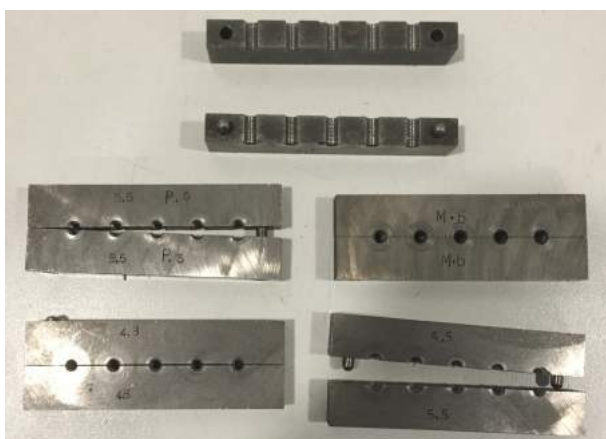


Ilustración 13: Placas endurecidas



Ilustración 14: Placas sujetas en la caja

Se debe tener en cuenta el diámetro del tornillo a la hora de seleccionar la placa ideal. El otro parámetro determinante será el de la longitud del tornillo. Se utiliza un bulón cilíndrico que permite al tornillo comenzar a trabajar mucho antes (Ver ilustración 14). No siempre se necesitará bulón, ya que hay longitudes que no lo requieren.

3.4.1.1 Procedimiento

El ensayo de torsión lo dividiremos en dos fases: Apriete y Rotura.

Apriete. Se comienza con el ensayo apretando los tornillos en la placa templada. Para ello, se hace uso de un atornillador a batería de litio IXO (Ver ilustración 15). Con un par de apriete máximo de 3/4,5 N·m y 215 r.p.m. en vacío. Si la herramienta mencionada no consigue introducir hasta el final el tornillo, se hace uso de una llave de carraca para terminar de fijar el tornillo hasta que la cabeza toque la placa.



Ilustración 15: Atornillando con la herramienta de BOSCH

Rotura. Una vez fijado el tornillo a la placa, se procede a continuar apretando la fijación en busca de su límite de rotura por torsión, mediante el empleo de una llave dinamométrica. Esta va aumentando el par de apriete a medida que va girando con una velocidad constante. Hasta alcanzar la rotura. (Ver ilustración 16).

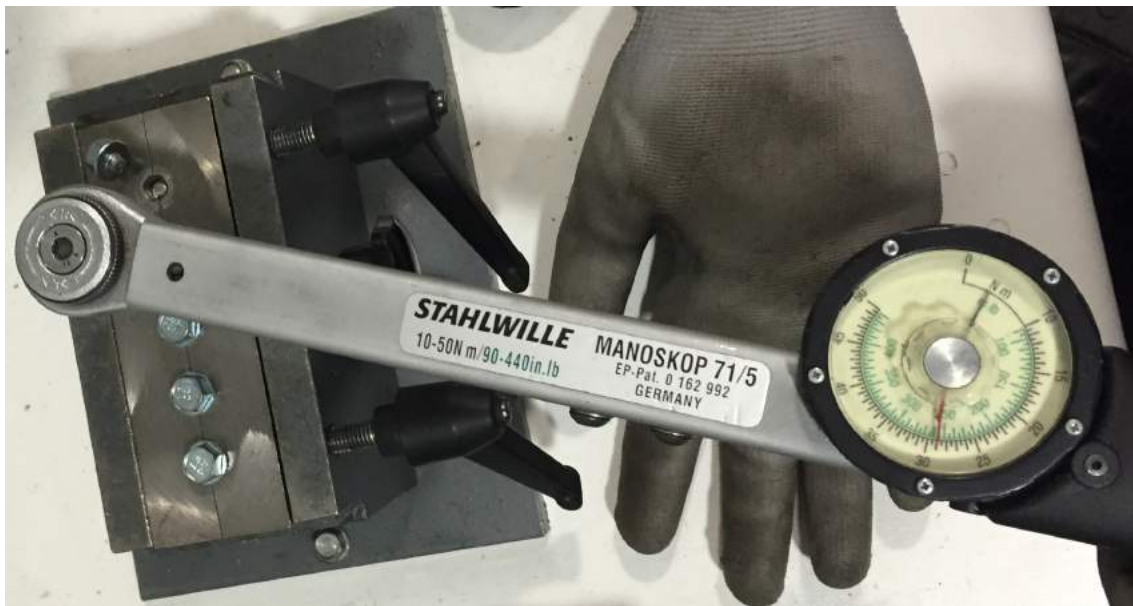


Ilustración 16: Llave dinamométrica.

La rotura se puede alcanzar de dos maneras:

La más habitual es *la rotura de la cabeza del tornillo*. Esto es debido a que es la parte más débil de la fijación y en este tipo de ensayo será donde más sufra. (Ver figura 17).



Ilustración 17: Rotura de la cabeza del tornillo

Por otro lado, se puede romper el tornillo por torsión cuando la rosca deja de trabajar y el tornillo comienza a “bailar” sobre la superficie en la que está introducido. Los filetes de la fijación se desgastan y dejan de ejercer agarre sobre las placas que lo sostienen. Una vez ensayados los tornillos sólo queda abrir la placa en dos y examinar el tipo de rotura experimentada por el tornillo. (Ver ilustración 18).

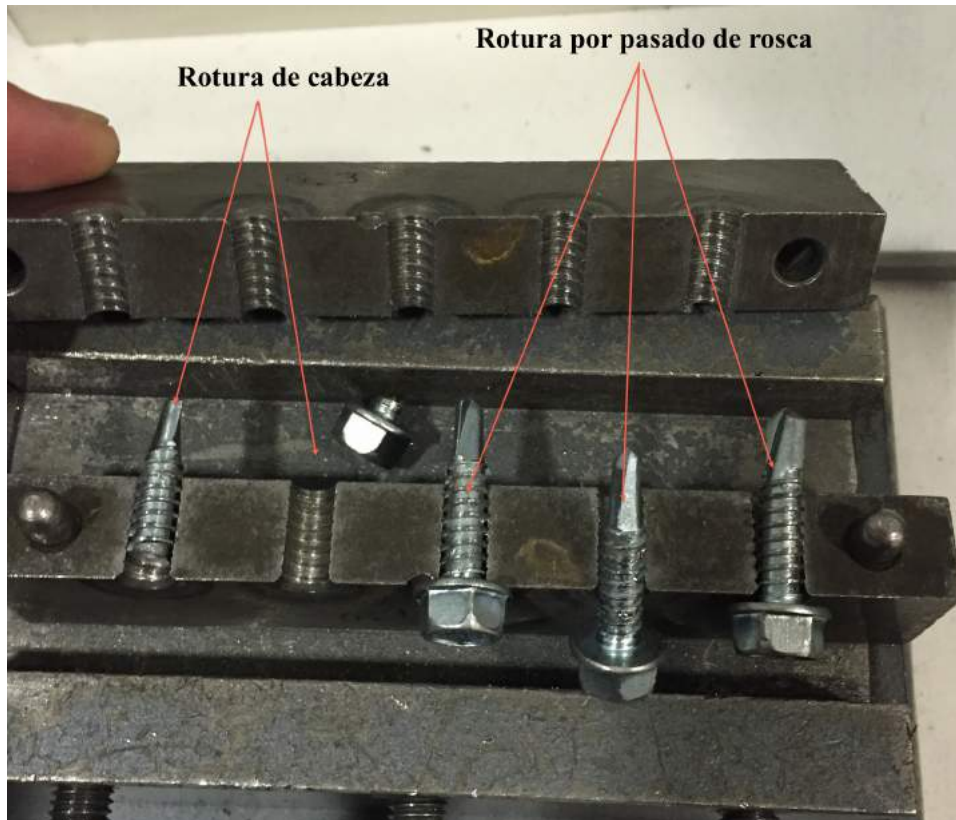


Ilustración 18:Tipos de rotura en torsión

3.5 Ensayo de cizalladura

Este tipo de experimento tiene una complejidad mayor que los arriba mencionados. La norma vigente no menciona este ensayo debido a que no tiene relevancia alguna para un tornillo. Una fijación será prácticamente imposible que rompa por cizalladura, ya que antes de romper este, se producirán desgarros en la chapa a la cuál esté fijando.

La ausencia de norma hace que se idee la manera de realizar el ensayo de que el tornillo sólo esté expuesto a cortante y se simulen las condiciones de funcionamiento. Se diseñarán unas placas de acero para poder realizar el mencionado ensayo (Ver ilustración 19).

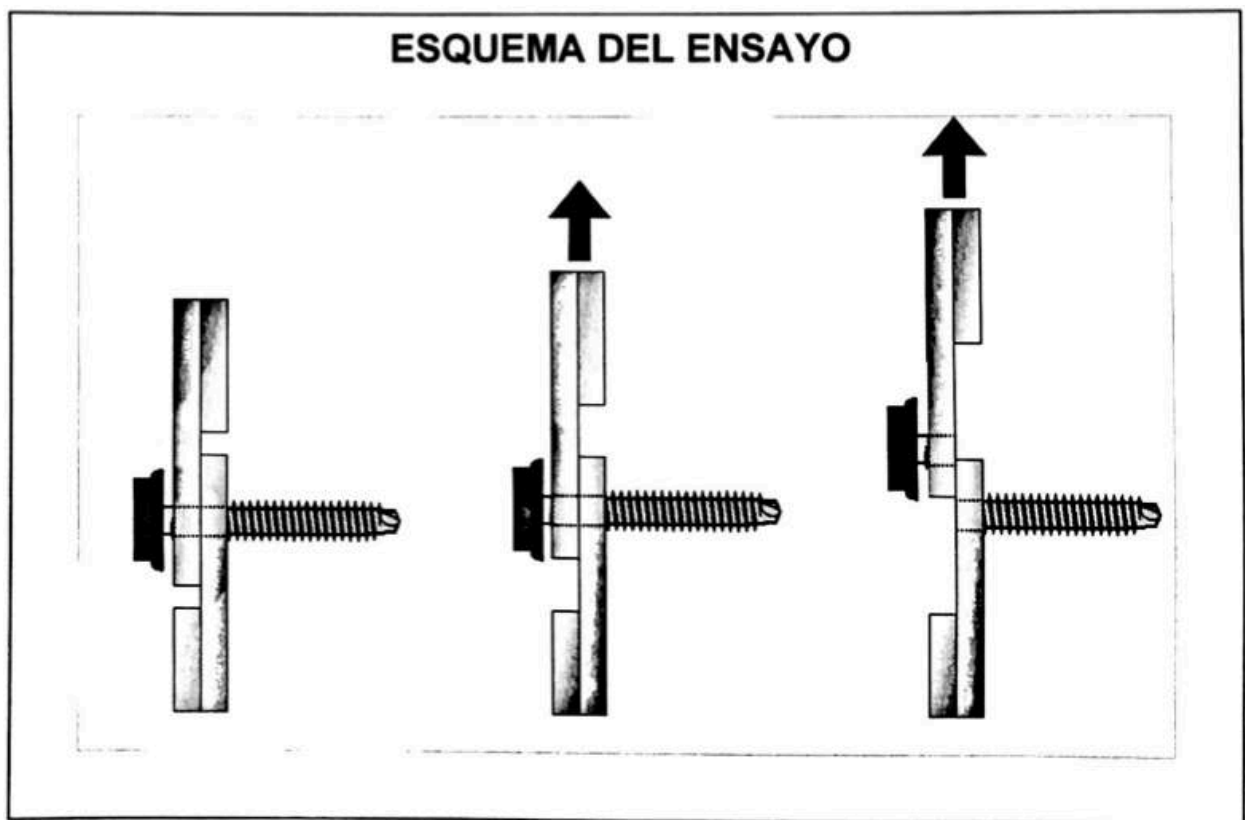


Ilustración 19: Esquema ensayo cizalladura.

Estas placas irán sujetas en cada uno de sus extremos por unas mordazas de una máquina de tracción uniaxial. Utilizaremos una máquina Instron 8802 del laboratorio de la Universidad Carlos III (Ver ilustración 20).



Ilustración 20: Máquina de tracción uniaxial.

El primer problema que se plantea es la necesidad de que sólo exista esfuerzo cortante. Por ello, cada placa tiene acoplado un soporte que consigue centrar la carga. De esta manera prácticamente eliminamos el posible momento flector en la placa. Pero esta premisa no es del todo exacta. Para realizar este ensayo de manera teóricamente correcta, se debería utilizar un espesor diferencial de tal manera que el momento flector fuese despreciable.

Otro problema es la elección del tipo de acero. Los tornillos, según norma, tienen una dureza de 530 HV 0,3, se selecciona un acero con una dureza superior. Una vez consultadas las diferentes empresas fabricantes de aceros, se opta por el acero cementado 58-60 HRC que aproximadamente son 690-740 HV.

3.5.1 Proceso de fabricación del útil de cizalladura:

1: Compra del acero con el tamaño mínimo que el fabricante vende, (10x50x1000) mm. Es un acero con los bordes perfilados y pulido pero sin haber recibido ningún tratamiento térmico (Ver ilustración 21).



Ilustración 21: Barra de acero

2: Mediante el empleo de una radial se procede al corte de la citada placa. Se cortan dos chapas de 10x50x250, posteriormente se hará un corte de 80mm en cada una. (Ver ilustración 22).



Ilustración 22: Corte de la placa

3: Se suelda en las partes laterales mediante un soplete de electrodos la placa de 80mm sobre la placa de 170mm restante. (Ver ilustración 23).



Ilustración 23: Placa soldada

4: Se practican tres orificios con tres brocas diferentes. Para ello se utiliza un taladro MAKITA fijo sobre un soporte para taladro (Ver ilustración 24). Debido a las limitaciones de las brocas disponibles se hacen agujeros de 5; 5,5 y 6,5 mm de diámetro cada uno. Todos los agujeros se mecanizan con el diámetro deseado y sin deformaciones en la pieza.



Ilustración 24: Taladro de orificios.

5: Una vez mecanizada la pieza y con las dimensiones deseadas, se externaliza a la empresa Aceros y Temples Alcalá S.L. el cementado. El objetivo es el de alcanzar una dureza de 58-60 HRc. (Ver ilustración 25).



Ilustración 25: Calentamiento y enfriamiento del acero

La cementación es un tratamiento termoquímico austenítico que se realiza al acero de bajo carbono (menos del 0.25%) que no está templado con el objetivo de enriquecer en carbono (más del 0.8 %) la capa superficial. El material se austeniza en una atmósfera o en un ambiente rico en C, el cual difunde hacia el interior de la pieza, permitiendo a la austenita disolver altos porcentajes de éste.

Se somete el carbono elemental a altas temperaturas (900-950oC), para que se produzca su difusión dentro del material de la pieza.

Gracias a la cementación, la pieza tendrá dos capas: superficie cementada y núcleo sin cementar. Después de la cementación, la pieza se somete a temple y revenido a bajas temperaturas. El núcleo, debido al bajo contenido de carbono, no admite temple, queda tenaz y puede trabajar bajo cargas dinámicas, y la zona periférica adquiere temple a una profundidad de cerca de 1 mm haciéndose resistente al desgaste por rozamiento.

La pieza final tiene un tono más claro debido al tratamiento térmico (Ver ilustración 26).



Ilustración 26: Útil de cizalladura.

3.6 Ensayo de arrancamiento.

Este procedimiento es de gran interés ingenieril ya que es un parámetro clave a la hora de diseñar una aplicación para los tornillos. De este ensayo se deduce la fuerza a la cual un tornillo se extrae de su soporte. Se debe tener en cuenta que para determinar la fuerza de arrancamiento, es preciso tener claro sobre qué tipo de acero se ha practicado el ensayo y a su vez, qué espesor tenía la chapa.

El departamento técnico de ETANCO S.A., diseñó y fabricó una máquina manual que puede desarrollar este ensayo (Ver ilustración 27). La medición de ésta no tiene gran precisión y sólo se podrá obtener el valor límite de arrancamiento, esto es debido a que el medidor es analógico.



Ilustración 27: Máquina de arrancamiento

La máquina consta de dos soportes, uno inferior y otro superior. Se introduce el tornillo roscado a la chapa en la máquina.

- En el inferior se mete una chapa de un espesor menor de 4mm y el soporte impide el desplazamiento vertical hacia arriba y lo sujeta hacia abajo.
- En la parte superior hay un útil con forma cilíndrica y un vaciado en la punta, en él, se introduce el tornillo que se sujeta sobre su cabeza.

Una vez colocado el ensayo, comienza moviendo la manivela situada en la parte superior de la máquina. Se debe girar a velocidad constante hasta que se produzca el arrancamiento. El dato del arrancamiento queda reflejado en el dinamómetro analógico situado en la parte superior derecha.

El problema de esta máquina es que debido a sus características geométricas, no admite tornillos de más de 50mm de longitud, además las placas con un espesor mayor de 4mm no entran en el dispositivo.

Hay otra opción para hacer este ensayo y es utilizar la máquina de tracción uniaxial INSTRON 8802. Para ello se deben fabricar dos útiles para poder sujetar el tornillo roscado a la chapa (Ver ilustración 28).

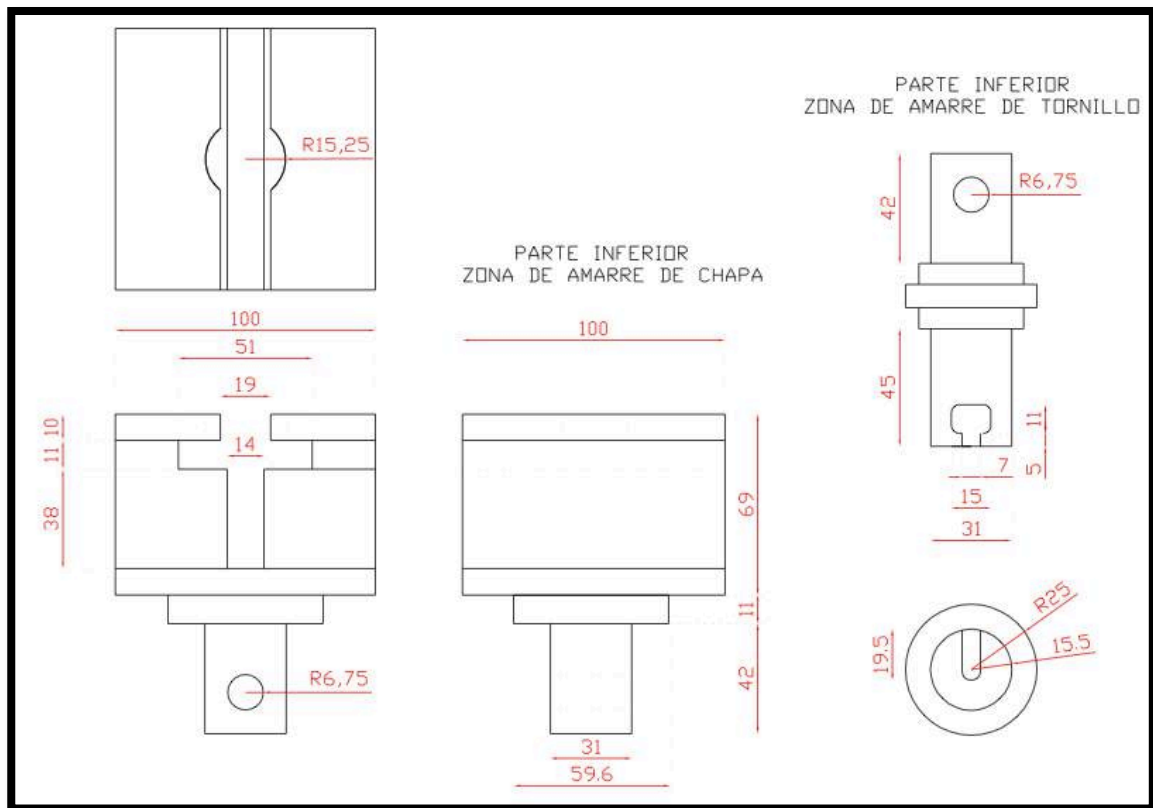


Ilustración 28: Útiles de arrancamiento

Es una forma más exacta de hacer este tipo de ensayo, y se obtendrían numerosos datos del proceso de arrancamiento. El alto precio de fabricación de estos útiles hace que no se pueda realizar este ensayo de esta forma.

4 Resultados de los ensayos:

Tras haber explicado cada uno de los ensayos y comentado las diferentes normas vigentes, se procede a hacer un estudio completo de la calidad de los tornillos de la empresa ETANCO S.A. Se deben determinar las características de cada fijación a la hora de su implementación en la obra. Cada uno de ellos tiene una aplicación diferente en función de los requerimientos del constructor. Por ello se deben comprobar que las tolerancias del fabricante se cumplen, así como la norma vigente, la UNE-EN ISO 10666.

De acuerdo con ETANCO S.A. se eligen 16 tipos diferentes de tornillos para poder realizar el control de calidad pertinente. De cada ensayo se ha cogido una muestra representativa de tornillos de acuerdo a las directrices de ETANCO S.A.

Todos los datos han sido recogidos en una hoja de cálculo Excel, que se adjunta al trabajo, en él, se ven reflejados todos los ensayos y controles que tiene que superar cualquier fijación según norma, y un ensayo adicional para determinar sus características mecánicas.

4.1 Análisis dimensional

Se procede a valorar los diferentes parámetros medidos sobre las fijaciones.

Los valores representados en las gráficas venideras serán representados con el número asignado a cada tornillo (Ver tabla 4).

Número	Nombre del tornillo
1	IFS-XX-V
2	DKH 4,8xL Br.3
3	DKH 5,5xL Br.3
4	DKH 6,3xL Br.3
5	DKR 6,3xL Br.1
6	D4H 5,5xL Br.4
7	DH5 5,5xL Br.5
8	TH 5,5/6,3 Br.3
9	T5 5,5/6,3 Br.5
10	TXS125
11	TXS2 5,5xL Br.2
12	TXS3 5,5xL Br.3
13	TXS3 6,3xL Br.3
14	TXS 5,5xL Br.5
15	TXXV225
16	TXS 5,5xL Br.3

Tabla 4: Número asignado a cada tornillo.

Las mediciones han sido efectuadas mediante el empleo de un pie de rey con una tolerancia de $\pm 0,02\text{mm}$. En base a este valor se ha calculado el error de medición.

4.1.1 Diámetro de la rosca:

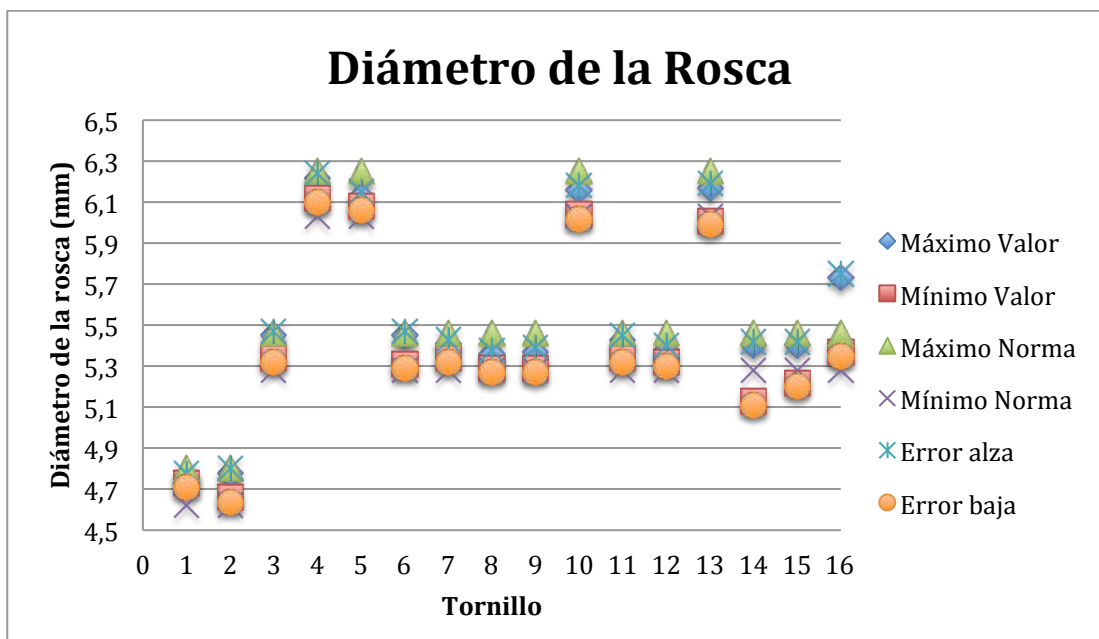


Gráfico 1: Diámetro de la rosca.

El *Gráfico 1* muestra el valor máximo y mínimo obtenido de todas las muestras. Para poder interpretar si los valores son razonables se hace uso de la Norma 7504-K, que refleja las tolerancias que debe tener cada fijación.

Hay tornillos que salen ligeramente de los límites impuestos por la norma, cabe destacar que los que no cumplen el máximo cumplen el mínimo y viceversa. Esto es debido a que cada lote de tornillos es diferente y normalmente hay proveedores que intentan fabricar con una tolerancia menor, y otros que intentan estar cerca de la tolerancia superior.

Independientemente de ello puede haber algún error de medida ya que el calibre o pie de rey no tiene la precisión deseada para este proceso. Además cada tornillo suele tener diferentes diámetros a lo largo de su tallo, variando del orden de décimas de milímetro entre cada medida.

No obstante, se puede aceptar esta fase del control de calidad ya que no hay ningún tornillo que haya sobrepasado en exceso el valor del diámetro de la rosca.

4.1.2 Diámetro de la broca.

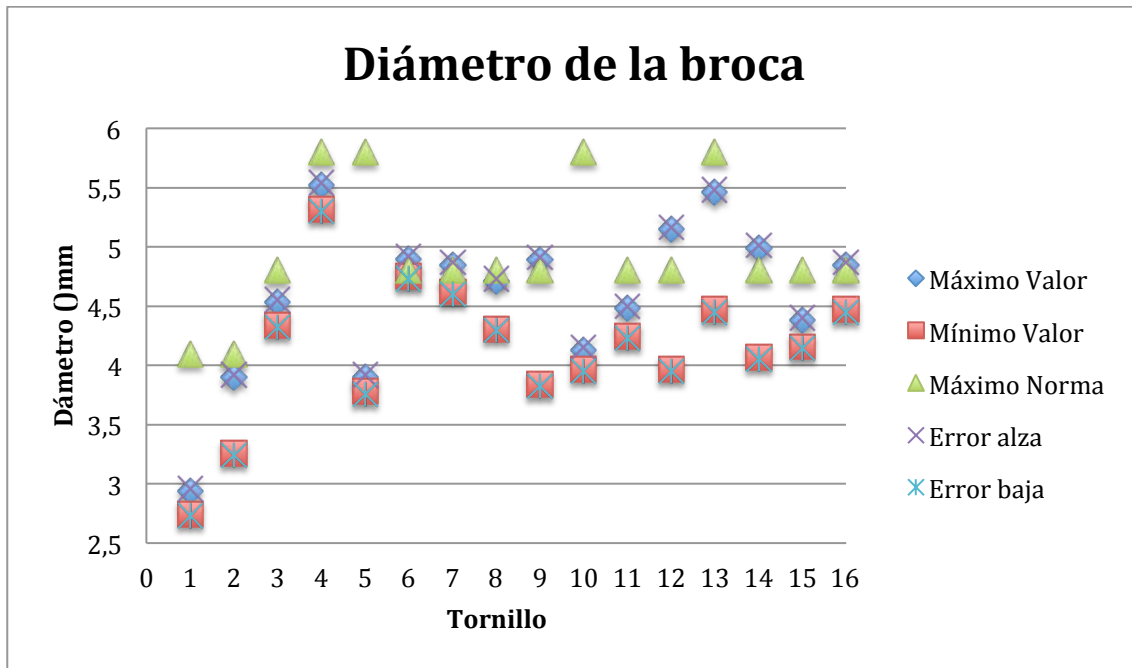


Gráfico 2: Diámetro de la broca.

La norma 7504-K no refleja el valor mínimo de la broca. Esto es debido a que la broca del tornillo no tiene funcionalidad una vez taladrado el agujero, por ello no se necesita una tolerancia mínima, ya que no tiene que roscar. Sin embargo sí se necesita una tolerancia máxima. Esto es debido a que la broca no puede sobrepasar el diámetro de rosca prefijado. Si tuviera un diámetro superior perdería capacidad de taladro y haría que el tornillo produjese problemas a la hora del montaje.

Se observa en el *Gráfico 2*, que la mayoría de los tornillos están por debajo del máximo impuesto por la norma, lo que denota que tienen la capacidad de taladro que indica el fabricante.

Sin embargo, los tornillos 6, 7, 9, 12, 14 y 16 tienen una medida por encima de la norma. Se debería volver a medir otra muestra de 10 tornillos para verificar que este dato no es un error de medida. En caso de que vuelvan a obtenerse resultados por encima de la norma se procedería a la emisión de un certificado de no conformidad.

4.1.3 Longitud del tornillo

Para hacer este análisis se debe distinguir entre diferentes longitudes. Se ordena, por razones meramente visuales a la hora de analizar los datos, los tornillos en dos rangos de longitudes. De 0 a 40 mm y de 41 a 120mm.

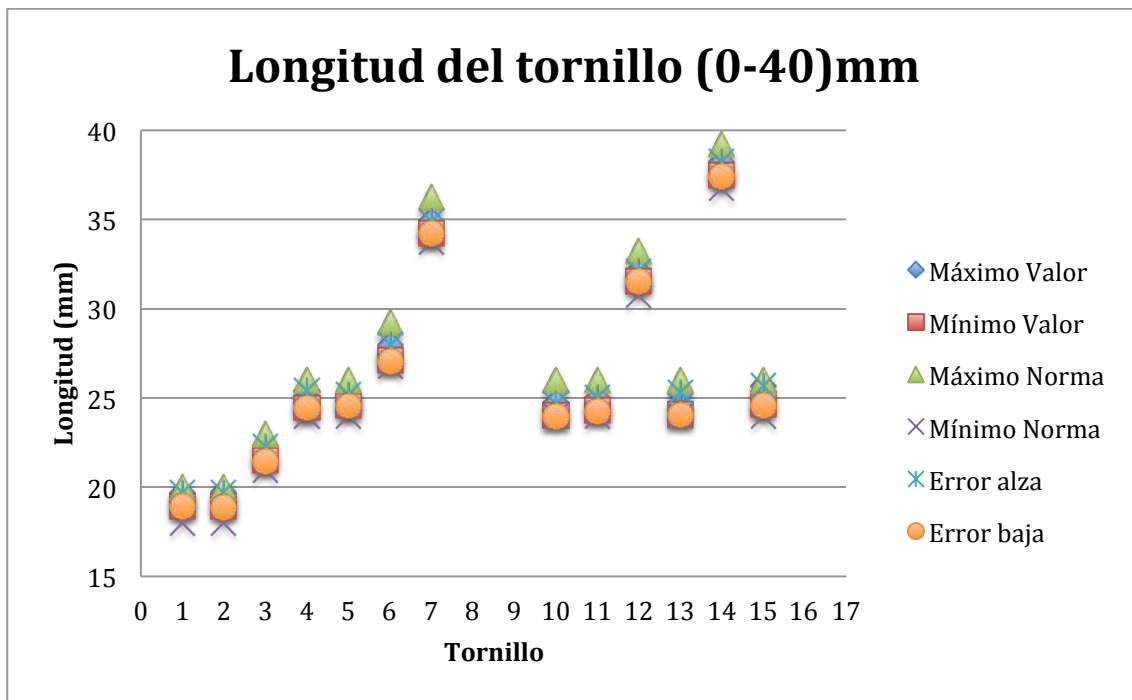


Gráfico 3: Longitud de (0-40)mm

Este parámetro de interés está dotado de una alta calidad debido a que las tolerancias impuestas por la norma 7504-K son notablemente más altas que la del resto de medidas. Esto es debido a que la longitud puede fluctuar en mayor medida que otros parámetros como el diámetro de la rosca que tienen que tener más exactitud.

Todos los tornillos inspeccionados en el *Gráfico 3* están dentro de las tolerancias y superan el control de longitud.

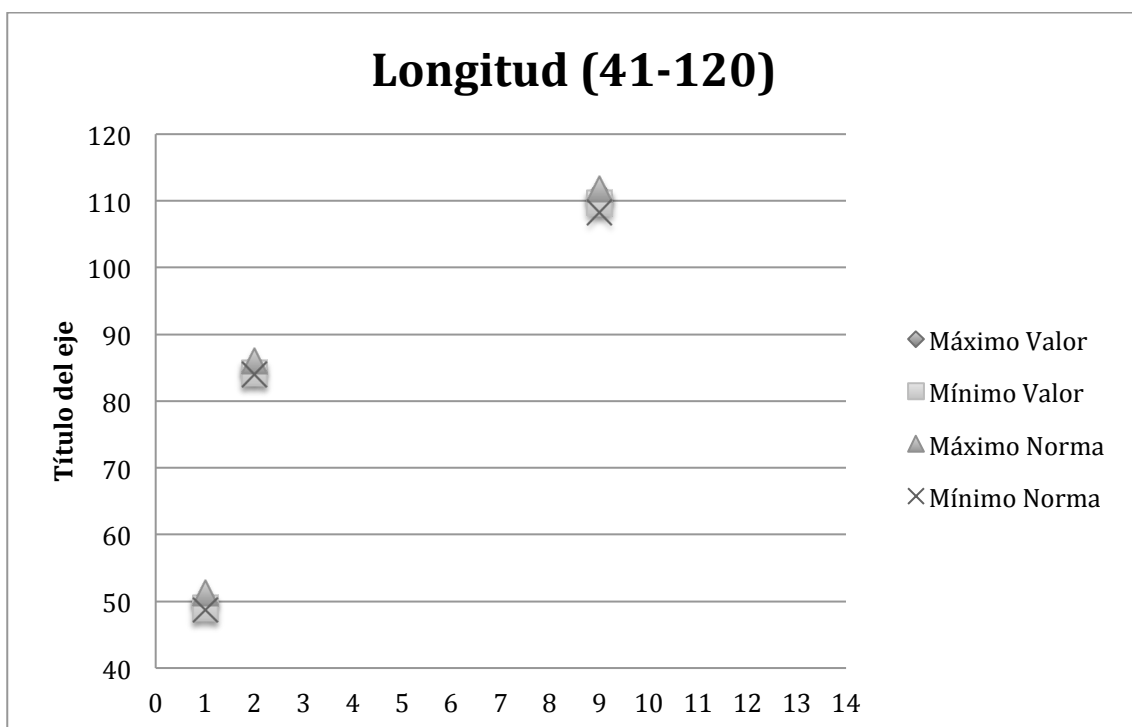


Gráfico 4: Longitud de (41-120)

En este otro rango de longitudes se observa que las tolerancias no son tan grandes pero aún así los tornillos cumplen con los requisitos. (Ver gráfico 4).

4.1.4 Distancia entre caras:

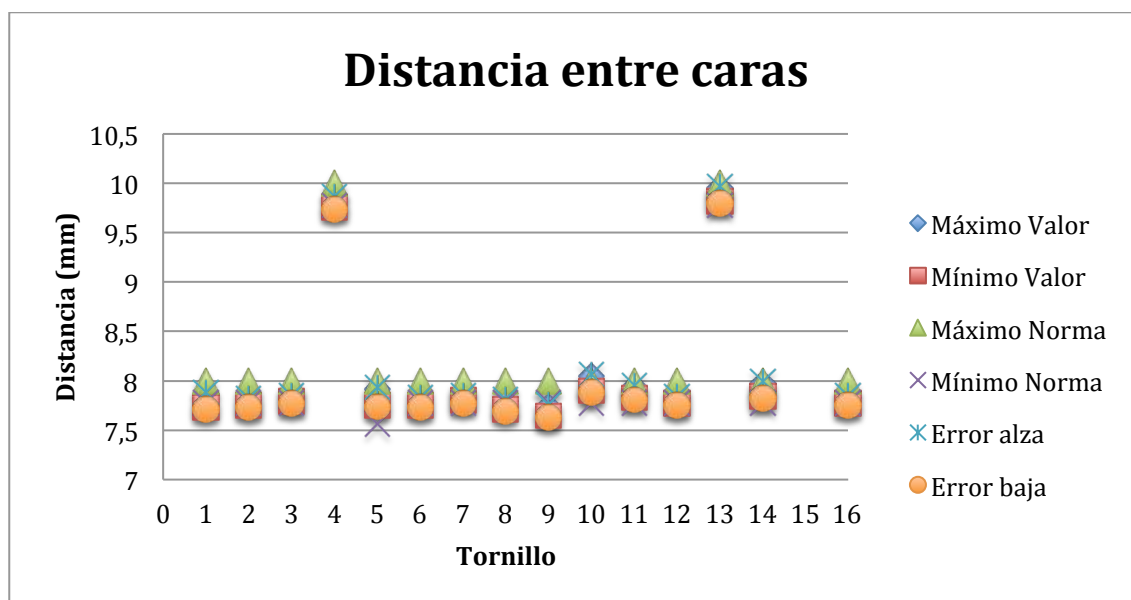


Gráfico 5: Distancia entre caras.

Esta parte del análisis dimensional tiene notable importancia a la hora del montaje de los tornillos. Con este parámetro, se determina el poder utilizar el vaso adecuado para montar cada fijación. Si la medida está por encima del valor de la norma, la cabeza del tornillo no podrá ser agarrada por el vaso del atornillador y por consiguiente, no se podrá hacer el montaje.

Por ello el valor que indica la norma 7504-K para la tolerancia máxima es igual a la distancia máxima que especifican las características geométricas del tornillo.

En el *Gráfico 5* se observa que todos los tornillos menos el número 10 cumplen las tolerancias, por lo que se puede aceptar esta fase del control de calidad en todos los tornillos a excepción del que supera el máximo.

El tornillo TXS125 tiene un valor máximo de 8,04mm, supera a la norma en 0,04mm por lo que se tiene que volver a medir otra nueva muestra de 10 tornillos. Con la nueva medición se pretende determinar si ha sido un error de medida, o en efecto este tornillo ha llegado del fabricante defectuoso. En caso de que sea defectuoso se elabora un informe al fabricante explicando por qué no es apto para su venta y la posterior devolución del lote.

4.1.5 Altura de la cabeza:

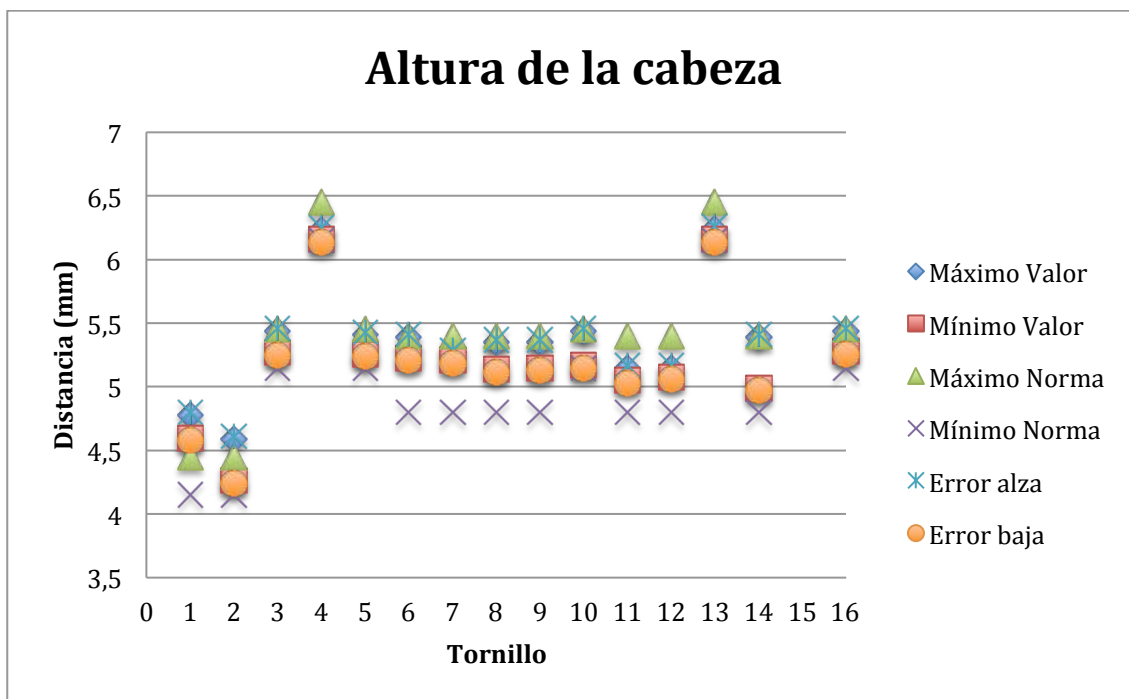


Gráfico 6: Altura de la cabeza.

Parámetro poco relevante y meramente estético. Se observa en el *Gráfico 6* que se trata de una dimensión que se ajusta notablemente a las exigencias de la norma 7504-K. Todos los tornillos a excepción del IFS-XX-V cumplen con los requisitos. Este último tiene un ligero error en la altura de la cabeza, al no ser muy grande se podría dar el visto bueno al lote.

Se observa también que el tornillo TXXV225 no tiene medida de la altura de la cabeza. Esto es debido a la cabeza ovalada que presenta esta fijación. Como consecuencia de su geometría compleja y diferente de la hexagonal del resto de tornillos, no se hace control de este parámetro.

4.2 Ensayo de autotaladro.

Nombre del tornillo	Tiempo Norma (seg)	Ensayo Anterior (seg)	Ensayo 2016 (seg)
IFS-XX-V	7	2,9	0,925
DKH 4,8xL Br.3	7	2,9	2,921
DKH 5,5xL Br.3	11	3,59	4,546
DKH 6,3xL Br.3	13	4,85	4,569
DKR 6,3xL Br.1	13	1,91	1,036
D4H 5,5xL Br.4	11	8,12	6,849
DH5 5,5xL Br.5	11	7,81	9,07
TH 5,5/6,3 Br.3	11	3,02	3,802
T5 5,5/6,3 Br.5	11	7,08	8,06
TXS125	13	0,7	1,189
TXS2 5,5xL Br.2	11	1,74	1,218
TXS3 5,5xL Br.3	11	5,12	4,515
TXS3 6,3xL Br.3	13	5,17	4,074
TXS 5,5xL Br.5	11	6,12	8,858
TXXV225	11	1,74	1,013
TXS 5,5xL Br.3	11	3,02	3,067

Tabla 5: Datos ensayo de autotaladro

Se reúnen todos los datos de este ensayo en una tabla para su posterior representación sobre los ejes de abscisas y ordenadas.

El *Gráfico 7* muestra la comparativa entre la Norma vigente UNE-EN ISO 10666, un ensayo realizado con anterioridad y el ensayo actual. Se observa un estricto cumplimiento de la norma (Ver tabla 6). Esto es consecuencia de la falta de rigurosidad a la hora de la elaboración de esta.

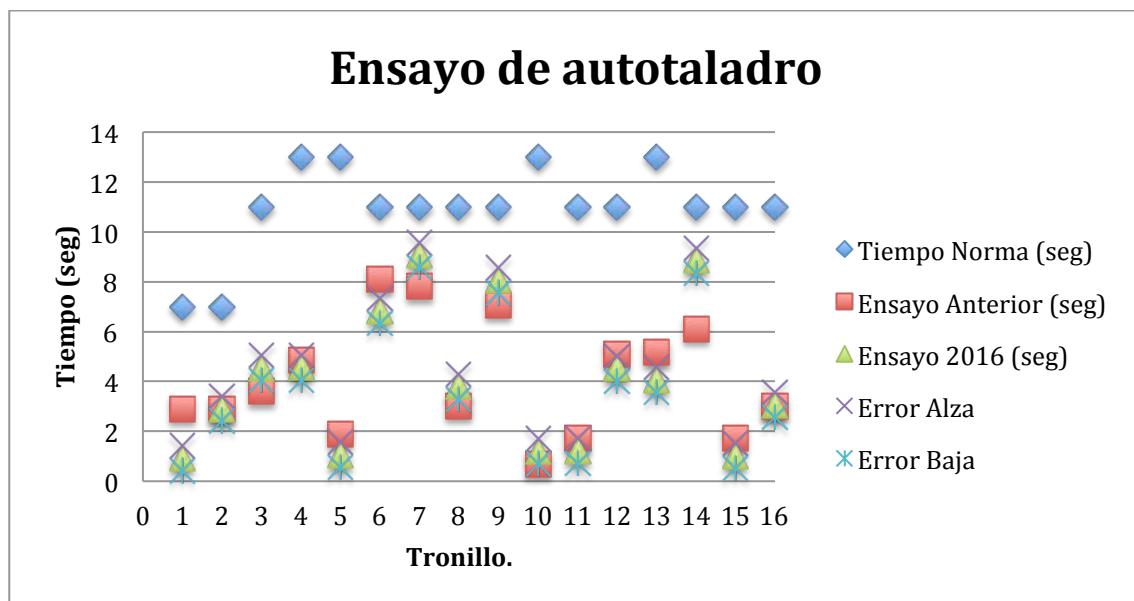


Gráfico 7: Ensayo de autotaladro.

Se ha tenido en cuenta la precisión del cronómetro empleado para calcular el error que produce del orden de $\pm 0,5$ segundos.

Los valores entre los dos ensayos realizados en periodos diferentes de tiempo son notablemente parecidos. El dispositivo de ensayo no tiene alta precisión y es por ello la pequeña dispersión que presenta el estudio. También cabe decir que la fluctuación de los valores es completamente insignificante. A efectos prácticos no tiene sentido discriminar un tipo de tornillo por el hecho de que tarde un segundo más o menos en taladrar una chapa. Lo importante es saber que la taladra con facilidad y no sufre deformaciones plásticas.

Este ensayo no sólo se practica para determinar el tiempo máximo de taladro. También es utilizado a modo de comprobación de que las condiciones de taladro son óptimas. Que no flecte ni fracture el tornillo y sobre todo, que la punta de broca no sufra daños durante el proceso de taladro son las características reseñables que se obtienen de este ensayo.

Los tornillos que mejores propiedades de taladro tienen son los DKH ya que están hechos de acero al carbono y no llevan recubrimiento de inoxidable que disminuye su dureza.

4.2.1 Ensayo de Torsión:

Recopilando todos los datos de este ensayo se elabora una tabla para su posterior representación. (Ver tabla 7).

Nombre del tornillo	Par norma (N·m)	Par anterior (N·m)	Par 2016 (N·m)
IFS-XX-V	6,9	7,9	15,7
DKH 4,8xL Br.3	6,9	7,9	16,55
DKH 5,5xL Br.3	10,4	11,4	31,4
DKH 6,3xL Br.3	16,9	17,9	26,5
DKR 6,3xL Br.1	16,9	17,9	26,8
D4H 5,5xL Br.4	10,4	11,4	22,1
DH5 5,5xL Br.5	10,4	11,4	23,8
TH 5,5/6,3 Br.3	10,4	11,4	26,3
T5 5,5/6,3 Br.5	10,4	11,4	25,1
TXS125	16,9	14,1	19,6
TXS2 5,5xL Br.2	10,4	11,4	18,2
TXS3 5,5xL Br.3	10,4	11,4	20,62
TXS3 6,3xL Br.3	16,9	14,1	19,8
TXS 5,5xL Br.5	10,4	11,4	21
TXXV225	10,4	11,4	13,4
TXS 5,5xL Br.3	10,4	11,4	15,8

Tabla 6: Ensayo de Torsión.

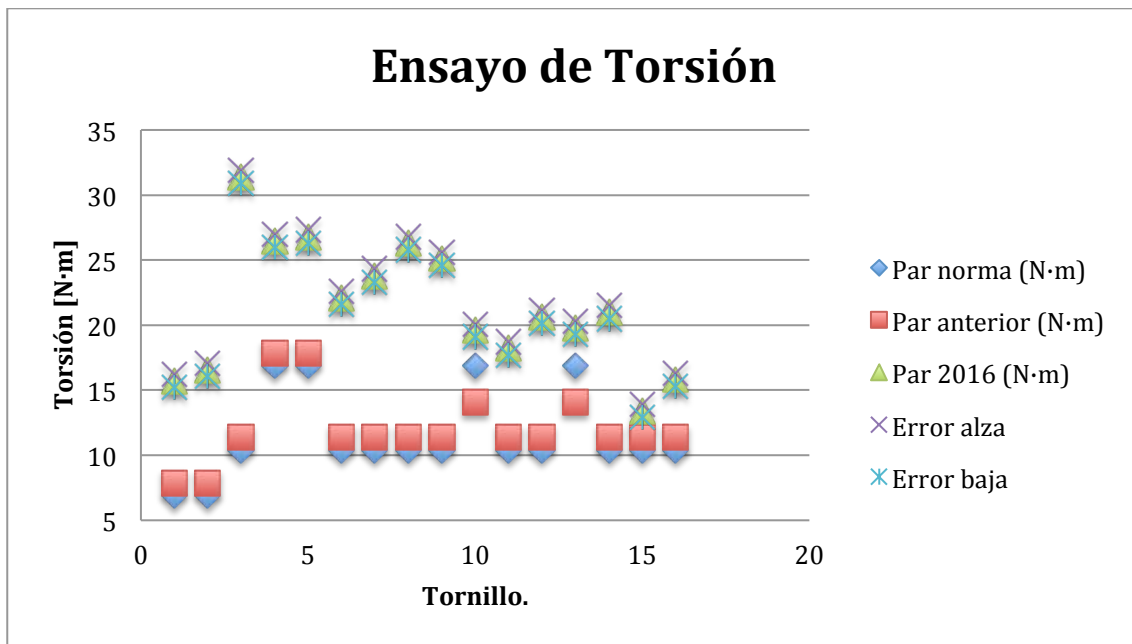


Gráfico 8: Ensayo de Torsión.

En el *Gráfico 8* se compara el par impuesto mínimo por la norma UNE-EN ISO 10666, con un ensayo realizado anteriormente y uno realizado en la actualidad.

Se ha tenido en cuenta la precisión de la llave dinamométrica para calcular el error que es del orden de $\pm 0,5 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Como se puede observar el ensayo actual alcanza un valor mayor de par de apriete. Esto es debido a la falta de precisión del aparato utilizado para la medición así como la dispersión en la medida del técnico que realiza el ensayo. En esta prueba influye la velocidad angular a la que se mueve la llave dinamométrica. Los ensayos se practican en periodos de tiempo diferentes y bajo el mando de diferentes técnicos, por ello, el estudio presenta una dispersión de datos significativa. Los datos representados están por encima de la norma vigente, por lo que se acepta el lote de 2016.

No todos los tornillos cumplen la norma. Puede ser debido a errores de ejecución de ensayo, aunque cabe la posibilidad de que los tornillos estuvieran defectuosos y por ello aguantaran un menor par de apriete. Quedan pendientes de más pruebas los tornillos TXS125 y TXS3 6,3xL Br.3, ya que en el ensayo anterior quedan por debajo de la norma.

Los tornillos que tienen mayor par de rotura son, como es obvio, los que tienen mayor diámetro. Esto es debido a que el momento torsor se distribuye a lo largo de todo su radio; se observa en la *Ecuación 1*, que al no variar ni el módulo de cortadura ni la distancia en z el parámetro determinante es el radio. (Ver ilustración 29).

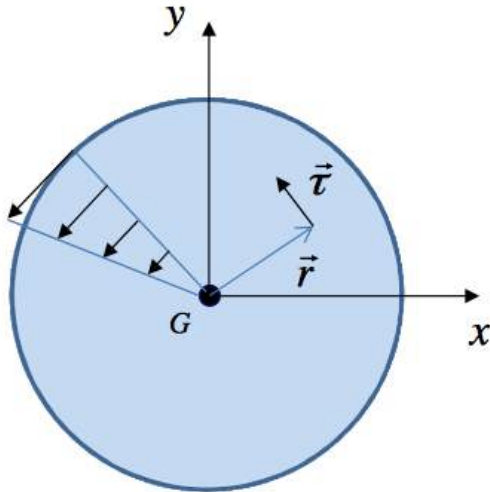


Ilustración 29: Esquema sección tornillo.

$$|\vec{\tau}| = \sqrt{\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2} = \frac{2T}{\pi R^4} \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{2T}{\pi R^4} r$$

Ecuación 1: Torsión sobre el tornillo.

4.3 Ensayo de cizalladura:

De cada tornillo se eligen 3 muestras para ser sometidas a tracción en el ensayo de cizalladura en la máquina de tracción uniaxial Instron 8802. De todos los ensayos se muestra la resistencia máxima y se hace una media para poder comparar todos los tipos de la siguiente forma: (Ver tabla 8).

Nombre del tornillo	Ensayo 2016 (kN)	Ensayo anterior (kN)
IFS-XX-V	5,961466667	7,9
DKH 4,8xL Br.3	5,156	8,4
DKH 5,5xL Br.3	9,7994	10,9
DKH 6,3xL Br.3	11,31	13,9
DKR 6,3xL Br.1	11,84015	14,1
D4H 5,5xL Br.4	9,1174	12,3
DH5 5,5xL Br.5	10,072	11,8
TH 5,5/6,3 Br.3	9,5919	11,8
T5 5,5/6,3 Br.5	10,6801	12,8
TXS125	9,3457	11,4
TXS2 5,5xL Br.2	7,1461	9,4
TXS3 5,5xL Br.3	8,5043	12,8
TXS3 6,3xL Br.3	12,066	12,8

TXS 5,5xL Br.5	7,8946	12,8
TXXV225	5,9486	9,4
TXS 5,5xL Br.3	8,3644	9,8

Tabla 7: Ensayo de cizalladura

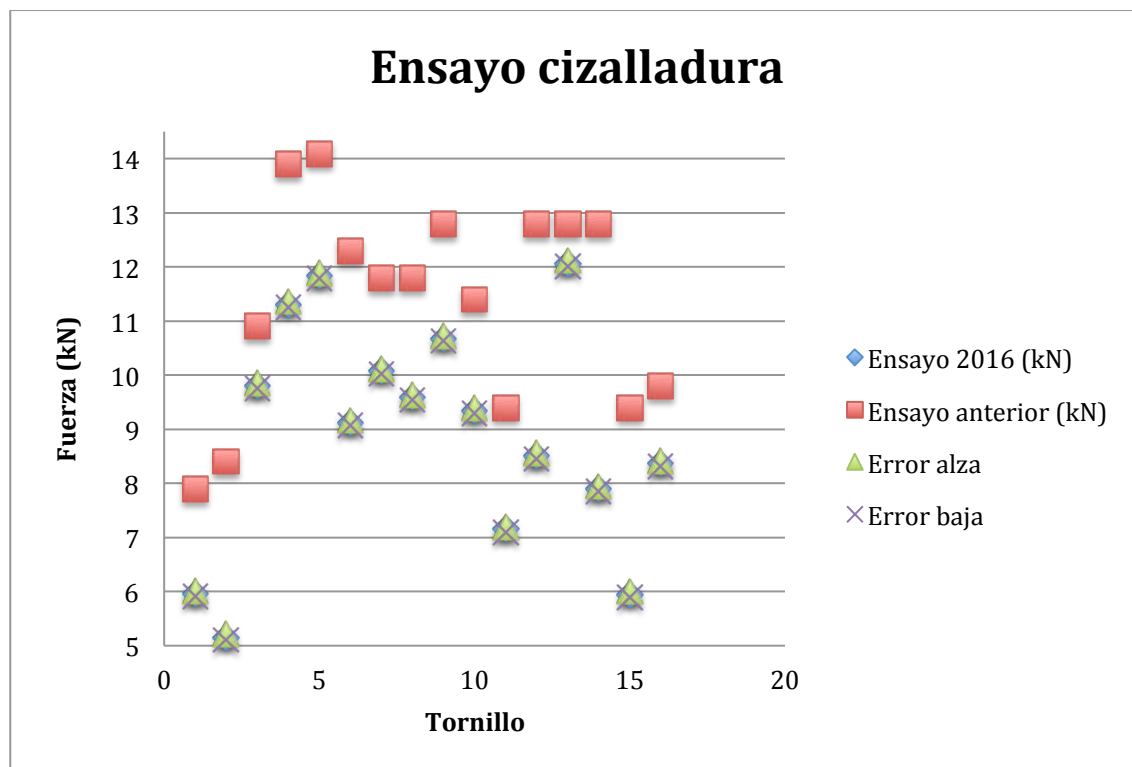


Gráfico 9: Ensayo de Torsión.

En el Gráfico 9 se puede comparar el ensayo realizado anteriormente con el ensayo actual. Este tipo de ensayo no está reflejado en la norma debido a su escasa practicidad. A pesar de ello, se pueden sacar conclusiones interesantes sobre el comportamiento de las diferentes fijaciones. (Ver Gráfico 9).

Se ha tenido en cuenta la tolerancia del ensayo aproximándola a un error de $\pm 0,05 \text{ kN}$.

Los datos de este año difieren en unos pocos kN respecto de los del ensayo anterior.

Esto puede ser debido a diferentes factores:

- Utilización de una máquina de tracción uniaxial diferente.
- Empleo de diferentes útiles de cizalladura. (En este caso se practica sobre dos chapas de 10mm de espesor cada una).
- Errores de toma de datos/análisis de los mismos.
- Diferente calidad de los tornillos.

Pese a la dispersión, se observa como los tornillos tienen una alta resistencia a cizalladura. Se debe tener en cuenta la aplicación de cada uno de ellos para saber que nunca trabajarán con semejante carga. Si se intentase alcanzar dicha carga se sabe que antes de producirse la deformación plástica del tornillo, se producirá la deformación y posterior rotura del material en el que está fijado.

Por ello, los datos recabados en este ensayo hacen que todas las fijaciones superen con creces esta fase del control de calidad.

Aun así, cabe resaltar que los tornillos que mejor trabajan a cizalladura son los de mayor diámetro y los fabricados en acero al carbono. Al introducirse un baño sobre la superficie del tornillo se disminuirá su capacidad de resistencia a cizalladura con la ventaja de poder aguantar atmósferas corrosivas.

4.3.1 Ejemplo de ensayo de cizalladura:

Se practica un análisis exhaustivo de una de las muestras para poder observar con claridad cómo trabaja el tornillo sometido a este ensayo.

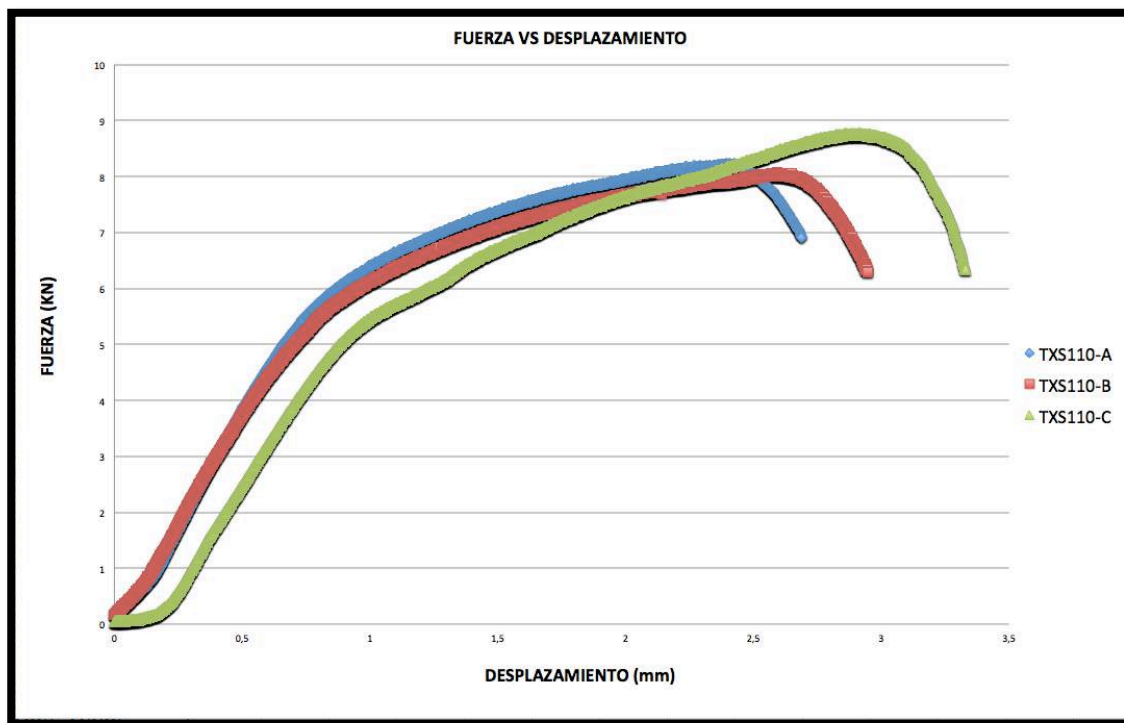


Gráfico 10: Fuerza Vs desplazamiento.

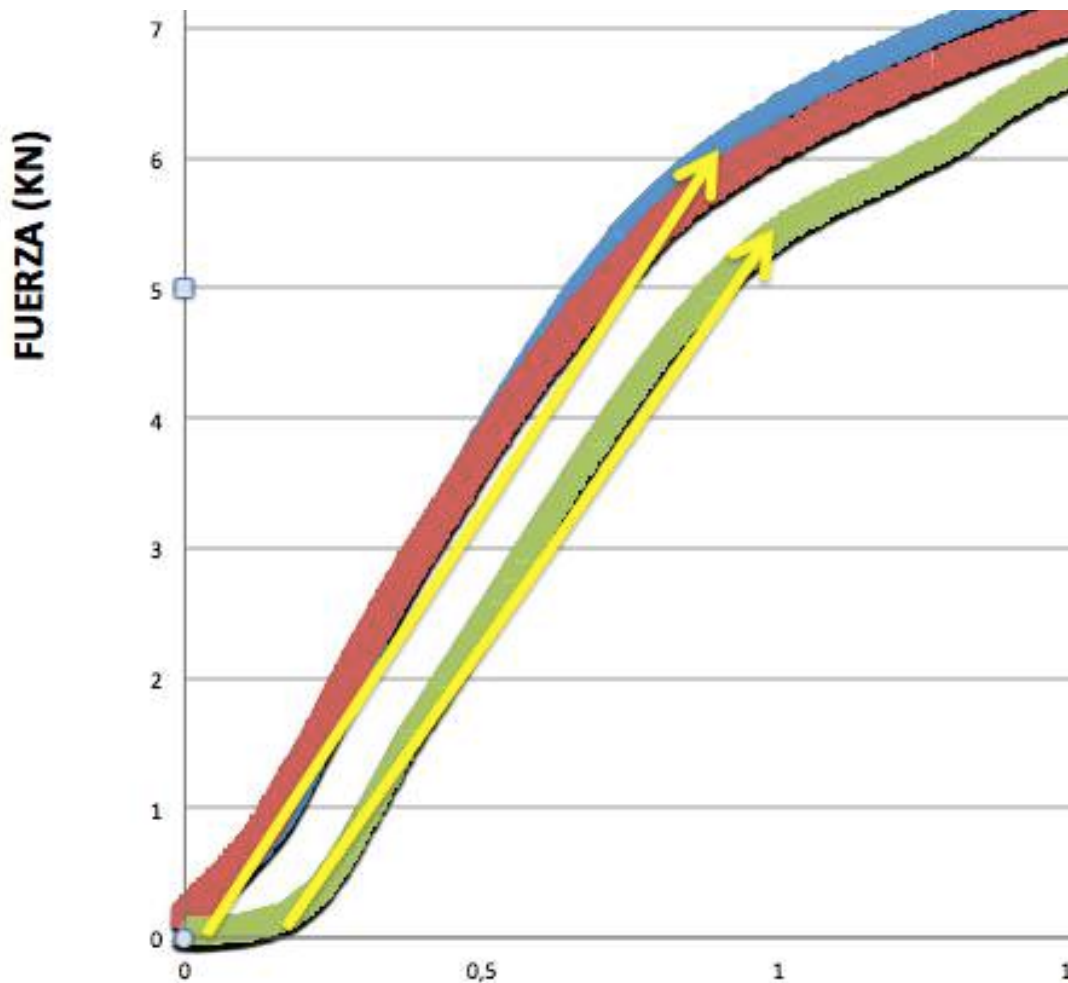


Ilustración 30: Tornillo TXS110

En el gráfico 10 se muestra la fuerza frente al desplazamiento, obtenido en un ensayo de cizalladura para el tornillo TXS110. Lo primero que se observa es que los valores de los máximos están relativamente próximos.

Las probetas A y B tienen una tensión límite de rotura menor que la C y por ello, romperán un poco antes que C. En ambos casos el comportamiento es elástico al principio dentro del primer milímetro y después comienza la fase plástica hasta el tercer milímetro de desplazamiento, donde se produce la rotura y por ello se produce un descenso de la fuerza significativa.

Se procede a calcular la tensión límite elástica interpolando en el gráfico 10, se toma el valor de fuerza límite: (Ver ilustración 30).

Se calcula la tensión en función de la fuerza y la sección del tornillo. (Ver ecuación 2).

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

Ecuación 2: Tensión

Probeta	Fuerza límite (kN)	Sección A_o (mm ²)	Tensión límite elástico σ_y (MPa)
A	6	23,76	252,54
B	6	23,76	252,54
C	5,5	23,76	231,48
Media	5,83	23,76	245,52

Tabla 8: Módulo de elasticidad.

Según los resultados de la *Tabla 8* el tornillo TXS 110 tiene una tensión límite elástica de 245,52 MPa. Esta tensión no se alcanza en ninguna aplicación de un tornillo, ya que antes de romper una fijación romperá la chapa sobre la que éste apoya. Aún así se afirma que los tornillos de ETANCO S.A. tienen altos límites de elasticidad y por consiguiente de rotura.

5 Análisis y discusión de la normativa empleada

5.1 Norma UNE

Nombre: UNE-EN ISO 10666 de abril de 2000.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

5.1.1 Objeto y Campo de Aplicación.

Esta norma internacional especifica las propiedades de tornillos autotaladrantes y autorroscantes tratados térmicamente de acuerdo con la Norma ISO 1478. Considera las siguientes características como las más importantes para la evaluación de las propiedades mecánicas y funcionales:

- La dureza superficial.
- La capacidad de perforar y formar la rosca de su hembra correspondiente.
- La resistencia a la torsión.

5.1.2 Normas para consulta:

La(s) norma(s) que a continuación se relaciona(n) contiene(n) disposiciones válidas para esta norma internacional. En el momento de su publicación (abril de 2000), la(s) edición(es) indicada(s) estaba(n) en vigor. Los miembros de CEI y de ISO poseen el registro de las normas internacionales en vigor en cada momento.

ISO 1478:1999-*Rosca autorroscante.*

ISO 4042:1999- *Elementos de fijación. Recubrimientos galvanoplásticos.*

ISO 6507-1:1997- *Materiales metálicos. Ensayo de dureza Vickers. Parte 1: Métodos de ensayo.*

ISO 15330:1999 – *Elementos de fijación. Ensayo de precarga para la detección de la fragilización por hidrógeno. Método de las placas paralelas.*

5.1.3 Requisitos:

Los tornillos para chapa deben fabricarse con aceros cementados o con acero tratado térmicamente. Además, tendrán que tener unas propiedades metalúrgicas determinadas:

5.1.3.1 Propiedades metalúrgicas:

-**Dureza superficial.** El valor mínimo debe ser de 530 HV 0,3

-**Dureza del núcleo.** Después de un tratamiento térmico debe estar comprendida entre:

- 320 HV 5 a 400 HV 5 para roscas \leq ST 4,2 y
- 320 HV 10 a 400 HV 10 para roscas \geq ST 4,2

-**Profundidad del cementado.** Debe cumplir los valores de la *Tabla 9*:

Rosca	Profundidad de cementado (mm)	
	Mínima	Máxima
ST 2,9 y ST 3,5	0,05	0,18
ST 4,2 a ST 5,5	0,10	0,23
ST 6,3	0,15	0,28

Tabla 9: Profundidad de cementado.

-**Microestructura.** La microestructura de los tornillos autotaladrantes no debe presentar ninguna banda de ferrita entre la zona superficial y el núcleo después del tratamiento térmico.

-**Fragilización por hidrógeno.** En los tornillos con protección electrolítica se tendrán que tomar medidas necesarias que permitan el control del riesgo de fallo por fragilización por hidrógeno, incluyendo un ensayo de detección de ésta conforme a la Norma ISO 15330. La Norma ISO 4042 también incluye este tema.

5.1.3.2 Características mecánicas.

-**Capacidad de perforación.** El tornillo autotaladrante debe tener una forma tal que sea capaz de taladrar el agujero necesario para la formación de la rosca hembra correspondiente.

-**Capacidad de autorroscado.** Los tornillos autotaladrantes deben ser capaces de roscar el taladro perforado.

-**Esfuerzo de torsión.** Los tornillos autotaladrantes deben poseer una resistencia a torsión tal que, el par de apriete necesario para provocar la rotura sea igual o superior a los valores mínimos del par de apriete dados en la *Tabla 12*.

5.1.4 Ensayos.

5.1.4.1 Ensayos de propiedades metalúrgicas.

Ensayo de dureza superficial. Se debe ensayar mediante el procedimiento Vickers según especifica la Norma ISO 6507-1. La entalla debe hacerse sobre la parte más plana posible del tornillo, preferentemente sobre la cabeza del tornillo.

Ensayo de dureza de núcleo. La dureza del núcleo debe ensayarse sobre una sección transversal, y conforme al método Vickers descrito en la Norma ISO-6507-1.

Medida de la profundidad de cementado. Debe medirse microscópicamente en una sección longitudinal situada en el punto medio del flanco entre la cresta y el fondo de rosca o, en caso de tornillos autotaladrantes de dimensión igual o inferior a S T 4,2 en el fondo de rosca.

Examen de la estructura. La microestructura del material debe examinarse mediante un examen metalográfico.

5.1.4.2 Ensayos de propiedades mecánicas.

5.1.4.2.1 Ensayo de autotaladrado y autorroscado.

Dispositivo de ensayo:

La ilustración 32 muestra un ejemplo del dispositivo de ensayo.

La chapa de ensayo debe fabricarse a partir de un acero de bajo contenido de carbono sin sobrepasar el 0,23%. La dureza de la chapa debe ser entre 110 HV 30 y 165 HV 30, medidos según la Norma ISO 6507-1. El espesor de la chapa de ensayo debe estar comprendido dentro de los valores dados en la *Tabla 9*.

Procedimiento:

El tornillo de muestra (con o sin baño electrolítico, según se reciba) debe taladrar y roscar la plancha de ensayo hasta que la rosca atraviese por completo.

Debemos tener en cuenta la fuerza axial y las velocidades de rotación que se especifican en la *Tabla 10*.

Inspección del agujero taladrado.

Por acuerdo mutuo, puede realizarse una inspección del taladro. Este control debe efectuarse con placas de ensayo según los espesores dados en la *Tabla 10*. La placa de ensayo debe estar centrada y ligeramente punzada en el punto a taladrar. Después de realiza el taladro en la placa, el valor máximo del taladro no debe sobrepasar los límites especificados en la *Tabla 10*.

La ilustración 32 muestra cómo puede ajustarse un dispositivo complementario al dispositivo de ensayo de la ilustración 31. El diámetro interior del casquillo debe ser aproximadamente 0,25 mm mayor que el diámetro exterior autotaladrante. La longitud del casquillo debe ser tal que la punta del tornillo sobresalga fuera del casquillo.

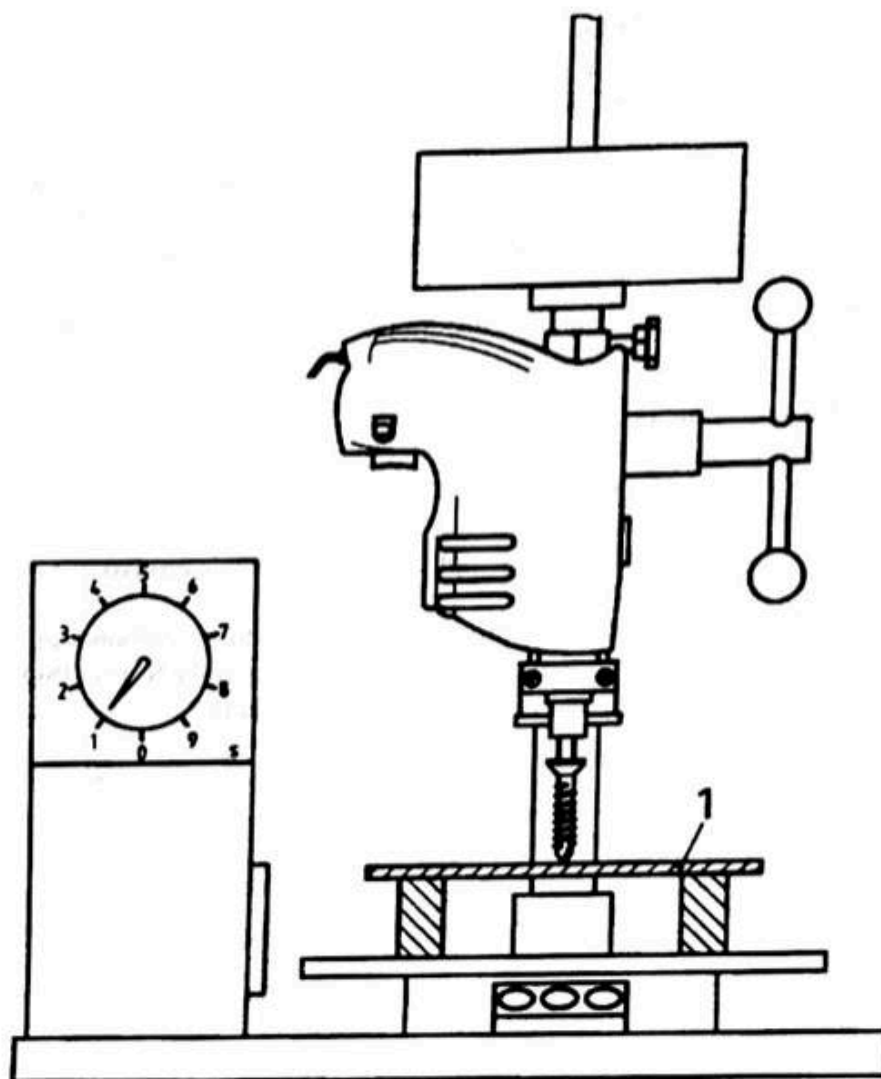


Ilustración 31: Dispositivo de fijación para el ensayo de taladro y roscado.

Rosca	Espesor de la chapa de ensayo ^a mm	Fuerza axial N	Duración del ensayo máximo s	Velocidad de rotación del tornillo bajo carga min ⁻¹
ST 2,9	0,7 + 0,7 = 1,4	150	3	1800 a 2500
ST 3,5	1 + 1 = 2	150	4	1800 a 2500
ST 4,2	1,5 + 1,5 = 3	250	5	1800 a 2500
ST 4,8	2 + 2 = 4	250	7	1800 a 2500
ST 5,5	2 + 3 = 5	350	11	1000 a 1800
ST 6,3	2 + 3 = 5	350	13	1000 a 1800

^a El espesor de la placa de ensayo puede conseguirse colocando dos placas de acero, una encima de la otra. Estos valores son válidos sólo para el ensayo de aceptación.

Tabla 10: Datos para el ensayo de taladro y roscado.

Leyenda:

1 Casquillo

2 Placa de ensayo

3 Agujero taladrado

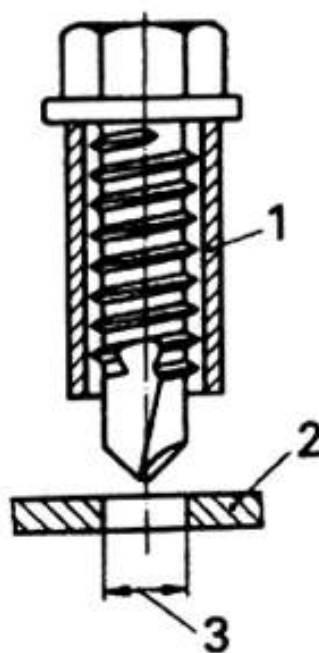


Ilustración 32:Dispositivo para el ensayo de taladrado

Rosca	Espesor de la chapa Mm	Diámetro del taladro Mm	
		Mínimo	Máximo
ST 2,9	1	2,2	2,5
ST 3,5	1	2,7	3,0
ST 4,2	2	3,2	3,6
ST 4,8	2	3,7	4,2
ST 5,5	2	4,2	4,8
ST 6,3	2	4,8	5,4

Tabla 11: Datos para el ensayo de taladrado.

5.1.4.2.2 Ensayo de torsión.

El tornillo autotaldrante que va a ensayarse debe sujetarse en un dispositivo de apriete ranurado o en otro dispositivo de ensayo equivalente, de forma que la parte aprisionada del tornillo autotaladrante no sea dañada.

La ilustración 34 muestra un ejemplo de dispositivo de ensayo. Después de fijado, al menos dos pasos del tornillo deben sobrepasar el exterior del dispositivo de apriete, y al menos dos pasos (sin contar la extremidad de taladrado) deben estar firmemente fijos en el montaje o en el dispositivo de ensayo. En caso de tornillos

de pequeñas dimensiones, la parte autorroscante al completo debe estar firmemente aprisionada, pero la cabeza de la rosca no debe reposar sobre la cara del dispositivo de apriete.

Mediante un aparato medidor del par de apriete debidamente calibrado, debe aplicarse el par de apriete al tornillo hasta la rotura. El tornillo debe tener una resistencia a la torsión mínima dentro de las indicadas en la *Tabla 12*.

5.1.5 Llaves dinamométricas.

Las llaves dinamométricas utilizadas para el ensayo de torsión deben tener una precisión del $\pm 3\%$ con relación al par de apriete especificado. (Ver ilustración 33).

Es igualmente posible utilizar un dispositivo eléctrico de detección del par de apriete de una exactitud equivalente.

Como referencia, debe utilizarse una llave dinamométrica manual.

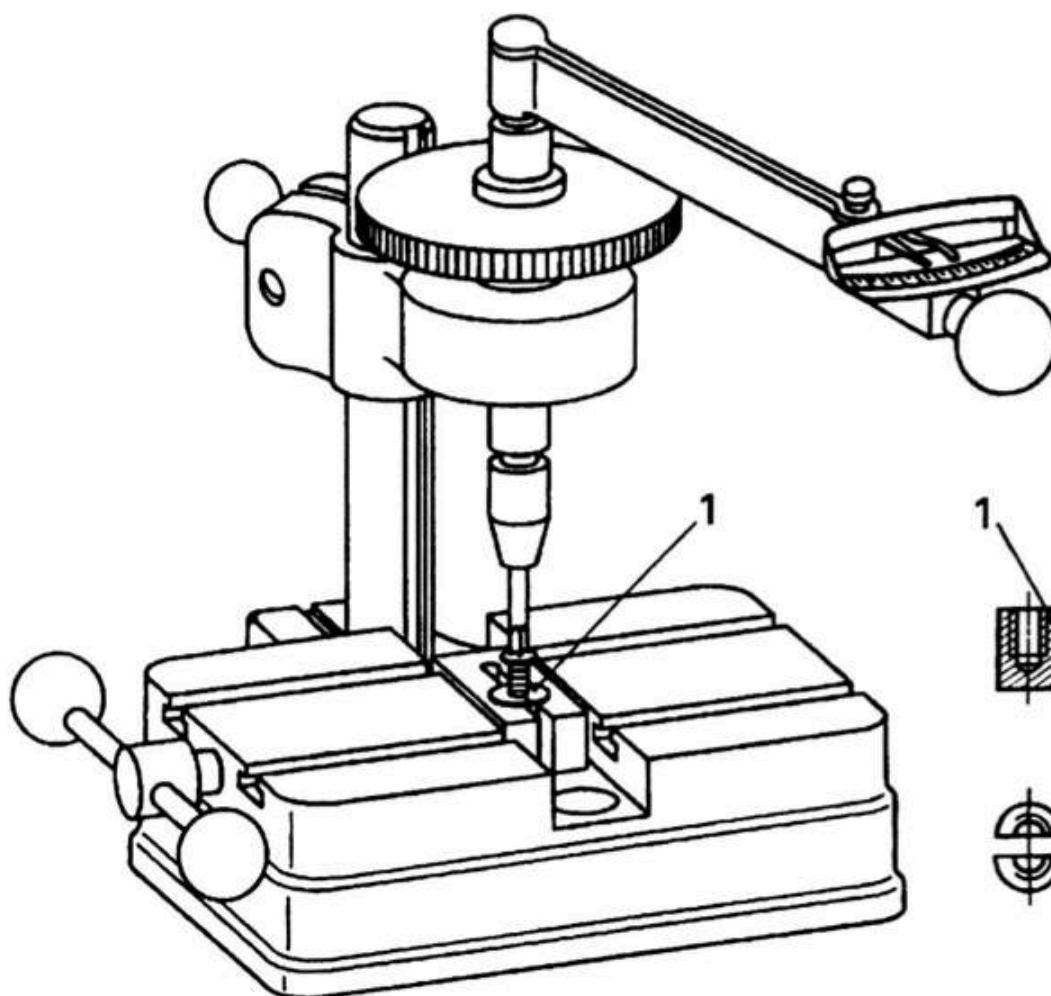


Ilustración 33: Dispositivo para el ensayo de torsión.

Rosca	Resistencia mínima a la torsión N*m
ST 2,9	1,5
ST 3,5	2,8
ST 4,2	4,7
ST 4,8	6,9
ST 5,5	10,4
ST 6,3	16,9

Tabla 12: Resistencia mínima a torsión.

5.1.6 Referencias normativas a normas internacionales con sus correspondientes normas europeas.

Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación (incluyendo a sus modificaciones). (Ver tabla 13).

Norma Internacional	Año	Título	EN	Año
ISO 1478	1999	Rosca autorroscante	EN ISO 1478	1999
ISO 4042	1999	Elementos de fijación. Recubrimientos galvanoplásticos.	EN ISO 4042	1999
ISO 6507-1	1997	Materiales metálicos. Ensayos de dureza Vickers. Parte 1: Método de ensayo.	EN ISO 6507-1	1997
ISO 5330	1999	Elementos de fijación. Ensayo de precarga para la detección de la fragilización por hidrógeno. Método de placas paralelas.	EN ISO 15330	1999

Tabla 13: Referencias normativas.

5.1.7 Códigos del ámbito normativo nacional.

Las normas que se relacionan en la Tabla 14, citadas en esta norma europea, han sido incorporadas al cuerpo normativa UNE con los siguientes códigos.

Norma Internacional	Norma UNE
ISO 6507-1:1997	UNE-EN ISO 6507-1:1998
ISO 15330:1999	UNE-EN ISO 15330:2000

Tabla 14: Normas

5.2 Crítica de la Norma:

Como se menciona anteriormente la norma vigente en el ámbito europeo, que es objeto de estudio, presenta una antigüedad notable. Puesto que este documento puede presentar cierto grado de obsolescencia, se procede a implementar una serie de puntos y de temas que mejorarían ésta.

5.2.1 Objeto y campo de aplicación

Se debe extender esta área mucho más. La norma no menciona ciertos ensayos que se deben hacer sobre los tornillos para conseguir una mejora de su calidad en el proceso de producción. Para una correcta revisión de la resistencia de los tornillos se tienen en cuenta los siguientes ensayos a parte de los ya mencionados en la norma:

5.2.1.1 Ensayos mecánicos:

Este tipo de pruebas determinan datos clave a la hora de diseñar una instalación que requiera la utilización de fijaciones.

-Ensayo de arrancamiento: Para un correcto cálculo del número de fijaciones y su disposición, se debe conocer el límite que tiene cada tornillo antes de romper sus filetes o deformar la placa al ser sometido a tracción pura.

-Ensayo de cizalladura: Con este experimento se muestra la fuerza por unidad de área que aguanta cada tornillo antes de romper. En este caso es sometido a cortante puro, factor determinante a la hora de diseñar el emplazamiento de los tornillos.

5.2.1.2 Ensayos de corrosión:

-Resistencia a la corrosión en cámara de niebla salina: Los tornillos, como cualquier elemento estructural, tienen una exposición notable a los agentes químicos de la atmosfera. Por ello se estudia su comportamiento a lo largo del tiempo, para determinar cuánto tiempo podrán trabajar de manera fiable.

5.2.2 Mejora de ensayos mencionados en la norma.

5.2.2.1 Ensayo de autotaladro y autoroscado

Procedimiento

La norma especifica que durante el ensayo de autotaladro, el tornillo de muestra debe taladrar y roscar la plancha de ensayo hasta que la rosca atraviere por completo.

Esta afirmación es incorrecta, ya que como se observa en la ilustración 34, el tornillo debe introducirse dentro de la placa hasta que la rosca comience a trabajar.



Ilustración 34: Procedimiento correcto.

En ningún momento es práctico el procedimiento de la norma, ilustración 35.



Ilustración 35: Procedimiento según norma (Incorrecto)

El parámetro de interés ingenieril es el tiempo de taladro de la broca ya que como se aprecia en la ecuación 2 es mucho mayor que el de la rosca.

$$t_{\text{taladro broca}} \gg t_{\text{roscado}}$$

Ecuación 3: Comparación de tiempos.

Se observa también que la norma presenta un casquillo en el que hay que introducir el tornillo para poder practicar el ensayo de autotaladro. Este artilugio es innecesario, ya que sólo se mide el tiempo de taladro de la broca y de los primeros filetes de cada fijación y el casquillo no llegará a entrar en funcionamiento.

Por otro lado, existe falta de precisión notable en relación a la tabla 10 y la elección de la placa en función de las características de cada tornillo. La norma especifica un espesor u otro en función del diámetro de cada tornillo. Este parámetro debe ir imperiosamente acompañado del tipo de broca. En los tornillos autotaladrantes se debe tener en cuenta este factor ya que el tipo de broca, junto con el diámetro de la rosca, son los factores que limitan la capacidad del tornillo a la hora de taladrar.

A pesar de que no conste el parámetro del tipo de broca, la norma debería actualizar los valores de la duración máxima de ensayo. En los últimos tiempos la evolución de los materiales ha sido muy significativa, por ello se deberían especificar valores más restrictivos para conseguir una mayor calidad de las fijaciones.

Se expone un ejemplo a modo de tabla que representaría con mucha más precisión este tipo de ensayo. (Ver tabla 15).

Diámetro rosca (mm)	Tipo de broca	Espesor de la chapa (mm)	Fuerza Axial (N)	Duración del ensayo (s)	Velocidad de rotación del tornillo bajo carga (min^{-1})
ST 5,5	Número 3	5	350	10	1000 a 1800

Tabla 15: Ejemplo tabla correcta.

5.2.2.2 Ensayo de torsión:

Ensayo más simple y por ello mejor definido en la Norma, aunque se debería hacer mayor hincapié en el útil en el que se introduce el tornillo.

No se especifica más que un dispositivo de apriete ranurado u otro dispositivo de ensayo equivalente, con la única condición de que la parte aprisionada del tornillo autotaladrante no sea dañada.

Sería más práctico especificar en la Norma un útil universal de acero con propiedades resistentes predefinidas en el que se introdujese el tornillo de una forma determinada y con unas ciertas tolerancias.

5.2.3 Conclusión

Una vez analizada la norma vigente se puede afirmar que la UNE-EN ISO 10666 está obsoleta por los siguientes factores:

- Carece de rigor técnico en su redacción. Se debe a la falta de información técnica en el desarrollo de los procedimientos de ensayo descritos en la norma.

- Los valores expresados en cuanto a tiempos máximos y resistencia al par de apriete han dejado de ser restrictivos. Esto es debido a la continua mejora de la tecnología y por ende de la calidad de los materiales y sus recubrimientos.

- No incluye ensayos muy representativos y tremendamente demandados en la industria de la construcción a la hora de diseñar aplicaciones para los tornillos. Como el ensayo de arrancamiento, el ensayo de cizalladura o el ensayo de cámara de niebla salina entre otros.

AENOR debería tener en mayor consideración el desarrollar y publicar una Norma digna, que incentive y mejore el desarrollo de los tornillos autotaladrantes y autorroscantes.

5.3 Norma DIN

Nombre: DIN 7504

Esta norma fue publicada el 16 de febrero de 1990, es una norma DIN *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemán de Normalización). Se trata de una de las predecesoras de la actual UNE-EN ISO 10666. Es una norma de aplicación en Alemania, aunque se utiliza en todo el mundo.

5.3.1 Campo de aplicación:

Se ocupa de tornillos tratados térmicamente con rosca de tornillos para chapa según DIN 7970, que disponen de una punta taladradora, con la cual taladran ellos mismos el agujero durante el montaje. Después, van conformando con su parte roscada, con o sin arranque de viruta, la contrarroscas.

5.3.2 Medidas, designación:

Esta es la parte más interesante y por la cual se sigue utilizando esta norma. La norma UNE-EN ISO 10666 no menciona en ninguna de sus páginas la inspección dimensional. En una empresa de tornillos es imprescindible hacer hincapié en la calidad de estos, por ello se deben saber las tolerancias geométricas para poder comprobar sus medidas.

Esta norma refleja un análisis geométrico en función del cabezal de cada tornillo: (Ver ilustración 36).

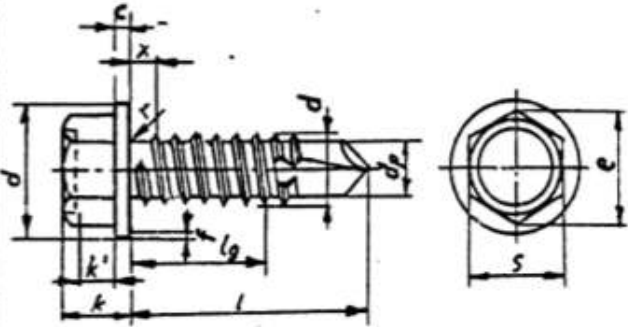
Forma	Figura	Medidas restantes según	Ejemplo de designación
K	<p>Con o sin rebaje en la cabeza a elección del fabricante</p> 	tabla 3	Tornillo tala drador DIN 7504 - ST 4,2 x 13 - K

Ilustración 36: Cabeza Hexagonal

Este tipo de cabezal es el más utilizado por la industria de las fijaciones. La forma de hexágono ayuda notablemente al montador a la hora de ser introducido en el

atornillador. La unión entre atornillador y tornillo se hace mediante un “vaso” en el que, como se observa en las ilustraciones 37 y 38, se introduce la cabeza del tornillo.



Ilustración 37 Vaso 8 mm (interior)



Ilustración 38: Vaso 8mm (exterior)

Este útil tiene diferentes medidas en función de la distancia entre caras de la cabeza hexagonal de cada tornillo.

DIN 7504, p. 2

Forma	Figura	Medidas restantes según	Ejemplo de designación
L	<p>Medidas restantes como forma K</p>	tabla 3	Tornillo taladrador DIN 7504 - ST 4,2 x 13 - L
N	<p>Ranura cruzada H ó Z según DIN 7962*)</p>	DIN 7981*)	Tornillo taladrador DIN 7504 - ST 4,2 x 13 - N - H
P	<p>Ranura cruzada H ó Z según DIN 7962*)</p>	DIN 7982*)	Tornillo taladrador DIN 7504 - ST 4,2 x 13 - P - H
Q	<p>Ranura cruzada H ó Z según DIN 7962*)</p>	DIN 7983*)	Tornillo taladrador DIN 7504 - ST 4,2 x 13 - Q - H

x máx. = P
*) Aún en proyecto

Tabla 16: Otros tipos de cabezas.

Los cabezales de la tabla 16 son menos utilizados pero también los refleja la norma. En toda la gama de tornillos autotaladrantes se debe saber qué letra recibe cada parámetro dimensional para posteriormente poder obtener sus tolerancias.

Tabla 2. Zona del agujero y longitudes de tornillos									
Rosca d		ST 2,9	ST 3,5	(ST 3,9)	ST 4,2	ST 4,8	ST 5,5	ST 6,3	
Zona del agujero (espesor de chapa) ¹⁾	desde	0,7	0,7	0,7	1,75	1,75	1,75	2	
	hasta	1,9	2,25	2,4	3	4,4	5,25	6	
	d _p ²⁾ máx.	2,3	2,8	3,1	3,6	4,1	4,8	5,8	
longitud nominal	1	1 _g							
	mín. máx.	mín.							
9,5	6,75 10,25	3,253)	2,853)						
13	12,1 13,9	6,6	6,2	5,8	4,3	4,73)			
16	15,1 16,9	9,6	9,2	8,8	7,3	5,8	5,3)		
19	18 20	12,5	12,1	11,7	10,3	8,7	8	7	
22	21 23		15,1	14,7	13,3	11,7	11	10	
25	24 26		18,1	17,7	16,3	14,7	14	13	
32	30,75 33,25			24,5	23	21,5	21	20	
38	36,75 39,25			30,5	29	27,5	27	26	
45	43,75 46,25					34,5	34	33	
50	48,75 51,25					39,5	39	38	
1) Para determinar la longitud nominal l deberá añadirse a los distintos espesores de chapa el intersticio de aire que pueda darse. 2) El diámetro d _p viene condicionado por la técnica del procedimiento y presupone la aptitud funcional según tabla 5. 3) Estas longitudes no sirven para tornillos avellanados.									
Tabla 3. Medidas de la cabeza para tornillos formas K y L									
Rosca d		ST 3,5	(ST 3,9)	ST 4,2	ST 4,8	ST 5,5	ST 6,3		
c	mín.	0,6	0,6	0,9	0,9	1	1		
	máx.	8,3	8,3	8,8	10,5	11	13,2		
d _c	mín.	7,6	7,6	8,2	9,8	10	12,2		
	máx.	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5		
e	mín.	5,96	5,96	7,59	8,71	8,71	10,95		
	máx.	3,45	3,45	4,25	4,45	5,45	6,45		
k	mín.	3,2	3,2	4	4,15	5,15	6,15		
	máx.	1,55	1,55	1,9	2	2,7	3,3		
medida nominal		1	1	1,2	1,2	1,6	1,6		
n	mín.	1,06	1,06	1,26	1,26	1,66	1,66		
	máx.	1,2	1,2	1,51	1,51	1,91	1,91		
r	mín.	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9		
	máx.	5,5	5,5	7	8	8	10		
s nominal s									
t	mín.	5,32	5,32	6,78	7,78	7,78	9,78		
	máx.	1	1	1,2	1,4	1,6	1,8		
1) Bisel condicionado por la técnica de fabricación. 2) Altura mínima para engranar o colocar la llave; en esta zona deberá darse *mín.									

Tabla 17: Tolerancias de los tornillos.

Esta tabla refleja algunas de las tolerancias que debe tener un tornillo a la hora del análisis dimensional.

Se observa en la tabla 17 el agujero que debe dejar el tornillo en función del diámetro de éste y teniendo en cuenta el espesor de la chapa.

La tabla 17 también refleja las medidas de la cabeza para tan sólo los de cabeza hexagonal (K y L), en función del tamaño de la rosca.

Debido a que esta norma es la predecesora de la actual UNE-EN ISO 10666, el resto de puntos están desarrollados en la norma vigente y por ello no tienen relevancia alguna. La norma vigente tiene una redacción ligeramente mejor que la prácticamente obsoleta DIN 7504.

5.4 Norma AISI:

Nombre: AISI S905 “*TEST METHODS FOR MECHANICALLY FASTENED COLD-FORMED STEEL CONNECTIONS*” Métodos de ensayo para tornillos conformados en frío. Edición de 2008. En una norma de aplicación en EEUU.

Esta norma está hecha para comprobar la calidad de los tornillos, dotada de numerosos ensayos y procedimientos que comentaremos a continuación.

5.4.1 Ensayo de cizalladura:

- Es la única norma que incluye este tipo de ensayo.
- El ensayo de cizalladura se tiene que realizar a velocidad constante y manteniendo una verticalidad óptima.
- Los aparatos de medida deben tener una precisión de $\pm 0,02$ mm.
- Los útiles de medida de dimensiones deben tener una precisión de 0,01 mm para la base de la placa de acero, 1mm para perfiles de chapa y 0,1 mm para medir los tornillos.

Hay tres tipos de ensayos:

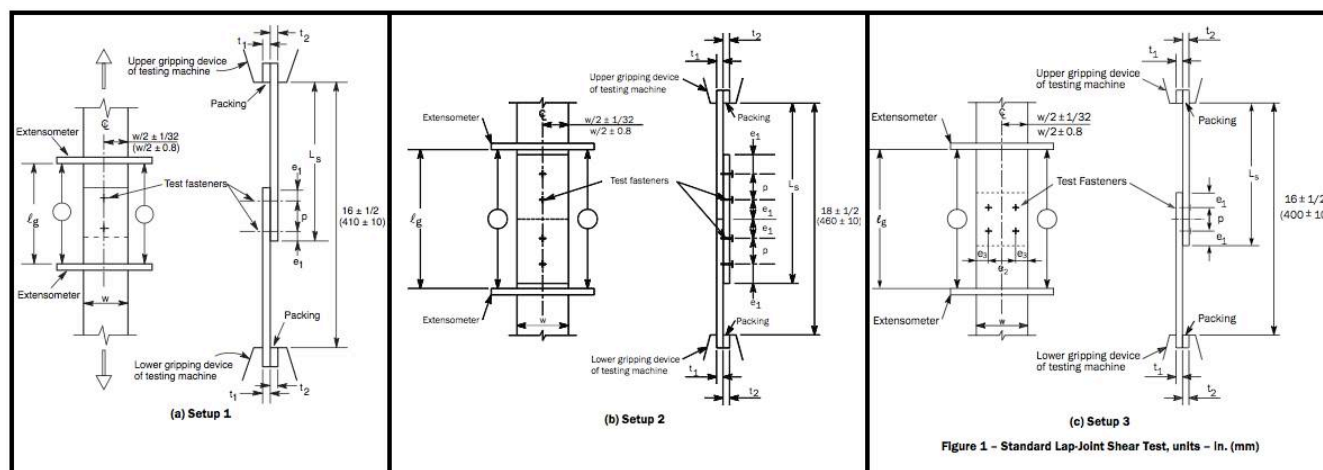


Ilustración 39: Ensayo de cizalladura.

Utilizando dos chapas de acero y mediante un apoyo a media madera (Lap-joint) se conectan los dos útiles por medio de dos tornillos. Ver configuración (a). En la configuración de la figura (b) los componentes de acero están conectados con un plato o base de acero en apoyo a media madera. Por último, la disposición (c) ensaya cuatro tornillos de una vez, los cuales se reparten el esfuerzo de cortadura a partes iguales.

(Ver ilustración 39).

En este tipo de ensayo el elemento clave es la cuña que se sitúa en la zona de agarre de las mordazas. El ensayo de cizalladura es puramente cortante y si no se pusieran las cuñas aparecería un momento flector en el tornillo. Se utilizan este tipo de cuñas en casos en los que no se pueda ajustar la posición de las mordazas o en chapas de menos de 2mm de espesor.

Para comprobar las tolerancias de cada experimento se debe tener en cuenta los datos de la *Tabla 17*.

Table 1
Geometrical Proportions for Standard Lap-Joint Connection Tests

Fastener Diameter d, in. (mm)	Specimen Dimensions in., (mm)				
	w	L _s	e ₁	p	ℓ _g
≤ 1/4 (6.5)	2-3/8 (60)	10-1/4 (260)	1-3/16 (30)	2-3/8 (60)	5-7/8 (150)
>1/4 (6.5)	10d (10d)	8+10d (200+10d)	5d (5d)	10d (10d)	1-3/16+20d (30+20d)
Tolerance	±1/16 (±2)	±3/16 (±5)	±1/32 (±1)	±1/32 (±1)	±3/16 (±5)

Tabla 18: Tolerancias geométricas.

Tipos de fallos por cortadura:

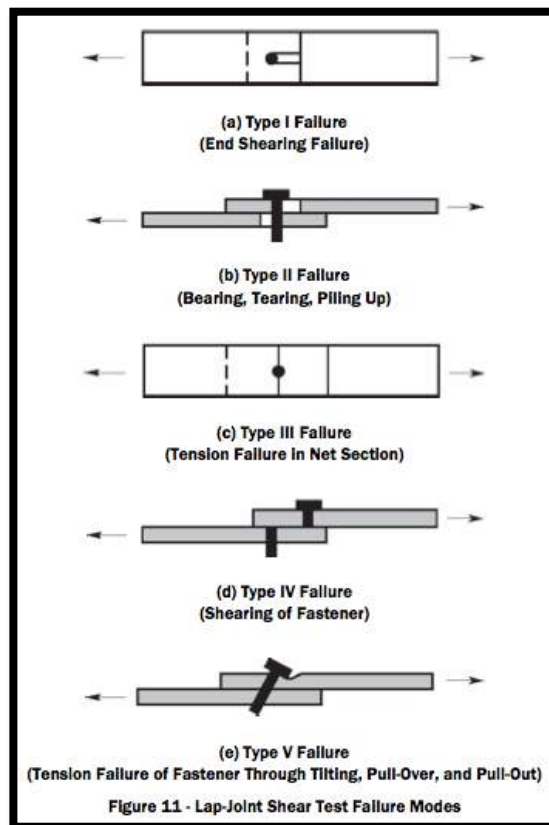


Ilustración 40: Fallos por cortadura

La norma hace referencia a las diferentes roturas que pueden suceder en el ensayo de cortadura. Dependiendo del tipo de material de la placa y del tipo de tornillo se encuentran uno u otro. Los diferentes fallos deben ser identificados y grabados acorde con la siguiente clasificación: (Ver ilustración 40).

- Tipo (a): Rotura final o cortante longitudinal en forma de dos líneas paralelas sobre la chapa.
- Tipo (b): Deformación de las chapas.
- Tipo (c): Fallo en el centro de la placa y sólo sobre una chapa.
- Tipo (d): Rotura del tornillo por cortante.
- Tipo (e): Rotura del tornillo junto con la chapa.

5.4.2 Ensayo de arrancamiento

Este tipo de ensayo sólo está reflejado en esta norma. La AISI S905 está dotada de numerosos procedimientos de ensayo de notable interés ingenieril.

El arrancamiento se produce por la acción de una máquina de tracción uniaxial.

Se necesita un espesor mínimo de chapa para poder realizar este ensayo de 3mm. Si no se consigue un espesor de 3mm hay que juntar varias chapas de pequeño espesor, como se observa en la ilustración 41 configuración (b).

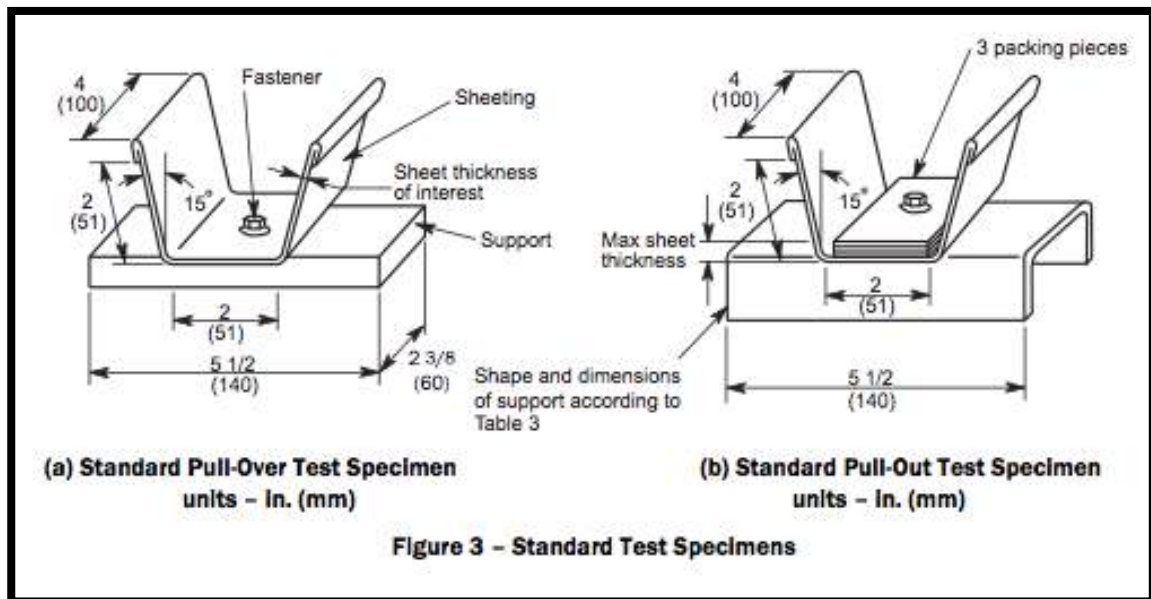


Ilustración 41: Dispositivos de ensayo de arrancamiento.

Una vez dispuesto el material a ensayar con su correspondiente fijación, se procede al arrancamiento del mismo. Se presentan dos opciones: Arrancamiento estándar y arrancamiento por gancho.

Arrancamiento estándar:

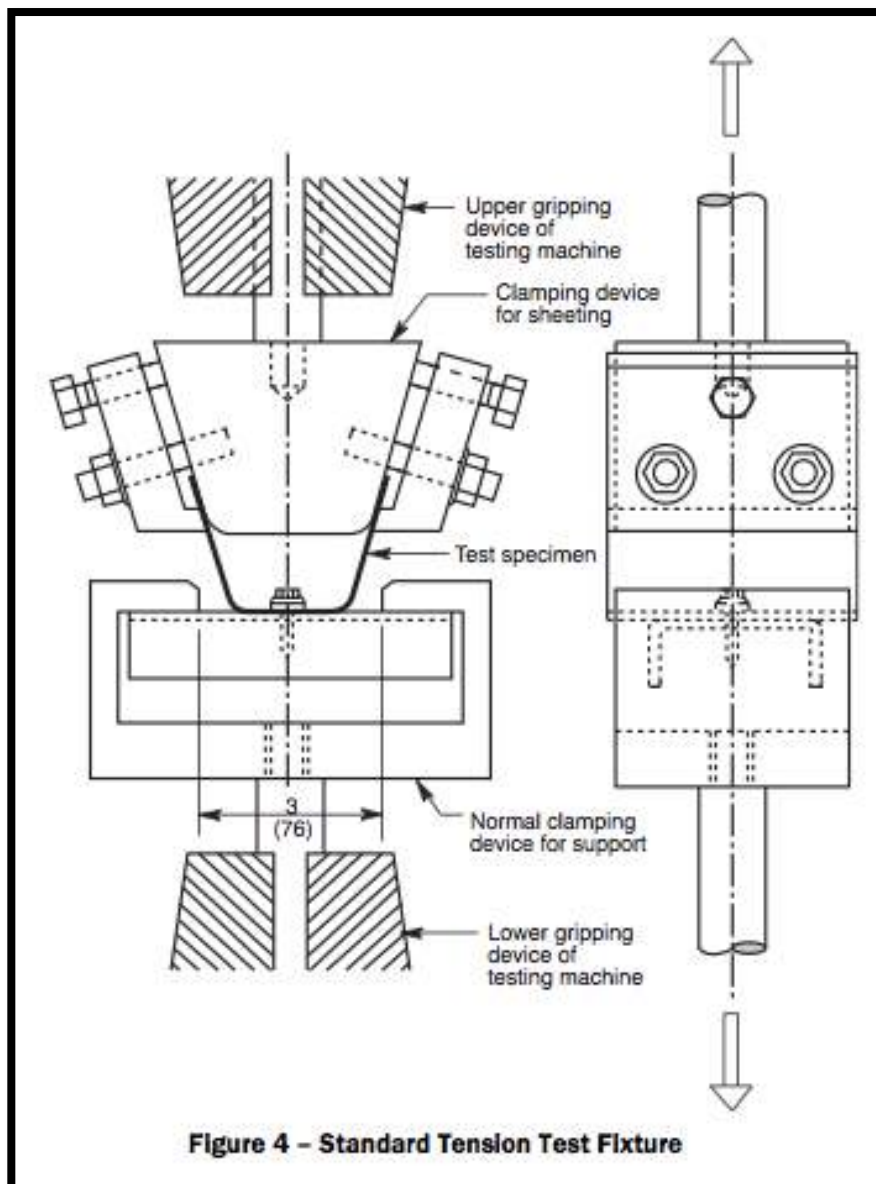


Ilustración 42: Dispositivo de arrancamiento estándar.

Se observa en la ilustración 42 que, la mordaza superior es anclada a una pieza de sección trapezoidal y ésta a su vez, va atornillada a la chapa de acero. Por otro lado, en la parte inferior, la mordaza se engancha una especie de “caja” en la cual se introducen los dispositivos de arrancamiento previamente montados.

Una vez colocados los útiles se procede a aplicar la fuerza hasta que se produzca la rotura. Esta puede ser en el tornillo o bien en la placa, dependiendo del tipo y material de cada una.

Arrancamiento por gancho:

Esta configuración utiliza el mismo principio y transmite la carga de igual manera. La diferencia es la forma de adaptar las mordazas de la máquina a los útiles de ensayo.

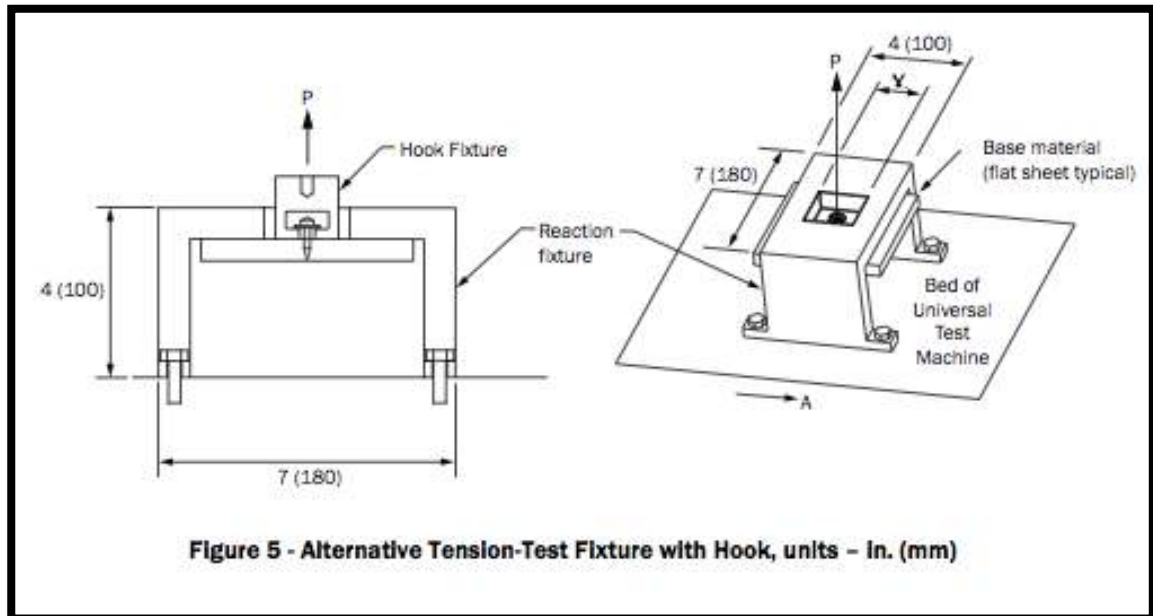


Ilustración 43:Arrancamiento por gancho.

Se puede observar en la ilustración 43 que el útil está formado por un gancho de forma cilíndrica con un vaciado en una parte lateral. Por este orificio se introduce el tornillo una vez atornillado en la chapa. La fuerza se ejerce, igual que en el ensayo anterior, sobre la cabeza del tornillo de tal manera que se asemeje todo lo posible a una aplicación real.

6 Conclusiones y trabajos futuros:

6.1 Conclusión:

El presente trabajo se ha desarrollado con la finalidad de transmitir los conocimientos del mundo de la tornillería industrial. Se han estudiado e introducido las dos clases de tornillos que existen en la actualidad y se ha profundizado en uno de ellos, el tornillo autotaladrante.

El ahorro de costes de taladrado o la practicidad de poder unir, con un solo elemento, dos tareas simultáneas (taladrado y roscado), ha generado una revolución en el sector industrial de la construcción.

Se han introducido parámetros de las fijaciones, así como el diámetro de la rosca o la longitud del tornillo que son clave a la hora de diseñar aplicaciones. El análisis dimensional es un proceso fundamental en el control de calidad de un lote de tornillos. Se deben verificar errores de fabricación (industriales e humanos) para asegurar el mejor manejo de este tipo de elementos mecánicos.

Se tienen en cuenta los diferentes ensayos que se deben practicar sobre los tornillos, para asegurar la durabilidad y capacidad de taladro de una fijación a la hora de unir dos o más elementos estructurales. Se han descrito ensayos mecánicos de tracción, cortante, arrancamiento y torsión que aseguran las propiedades mecánicas fundamentales en el diseño y fabricación de estructuras.

Se analiza y critica la norma vigente a nivel europeo y mundial en el campo de las fijaciones industriales.

Con la elaboración de este trabajo se ha conseguido profundizar en el sector industrial de la tornillería. Se ha informatizado el control de calidad de la empresa ETANCO S.A. mediante el empleo de normativa vigente, con ello se ha conseguido avanzar hacia la meta de cero defectos. Este procedimiento de calidad eleva a una pyme en la continua lucha por la diferenciación dentro del mercado de la tornillería industrial.

Mediante el análisis de la normativa vigente se puede entender el funcionamiento de la tornillería dentro del ámbito de la calidad. Se ha conseguido desarrollar un procedimiento de análisis de fijaciones dentro del marco de la legalidad a nivel europeo. Cabe destacar la no conformidad con la legislación vigente debido a la falta de rigurosidad y escasa seguridad que ofrece la normativa.

El conjunto de este trabajo explica, analiza y verifica la calidad de los tornillos en relación a su aplicación dentro del entorno industrial desde el punto de vista de una empresa dedicada a la compra y suministro de fijaciones a nivel mundial.

6.2 Trabajos futuros:

El primer paso después de realizar este trabajo consiste en la preparación y desarrollo del ensayo de arrancamiento mediante el empleo de la máquina de tracción mecánica INSTRON 8802. Como ya se ha mencionado, sólo se precisa fabricar los útiles de arrancamiento, seleccionar una muestra representativa de tornillos y desarrollar el ensayo. Este procedimiento generará datos importantes a la hora de diseñar y calcular el número de fijaciones que una cubierta o fachada requiere por metro cuadrado. Como se ha mencionado anteriormente, la mayor probabilidad de rotura la tiene la chapa en la que se introduzca la fijación, pero este parámetro ayuda al ingeniero a la hora de desarrollar el diseño con mayor precisión.

Por otro lado, sería interesante renovar y actualizar el procedimiento de ensayo de autotaladro. La máquina expuesta en este trabajo tiene más de 15 años de antigüedad y no tiene la precisión necesaria para el desarrollo de este tipo de ensayos. Por ello, sería interesante diseñar y fabricar una nueva máquina capaz de desarrollar este ensayo con mayor precisión. A continuación se describen una serie de mejoras.

- Se introduce un sensor óptico de detección directa para poder detener la máquina, una vez que haya taladrado lo deseado.
- Se automatiza el sistema de cables cambiando la manivela por un motor con control digital para poder subir y bajar el atornillador con la ayuda de un pulsador.
- Se cambian los cilindros de sujeción del atornillador por husillos de bolas para eliminar la fricción.
- Los tiempos medidos por el cronómetro se envían a una placa de Arduino que recoge los datos y los almacena para su posterior retirada vía USB o cable.

Todos estos avances harían del ensayo de autotaladro una prueba más precisa y fiable para comprobar la calidad de los tornillos y su aplicación en la obra.

Por último, es interesante hacer una propuesta formal y escrita a AENOR para implementar una serie de mejoras descritas anteriormente y así conseguir más restricciones a la hora de ensayar los tornillos. Con el objetivo principal de aumentar la calidad de los tornillos autotaladrantes y autorroscantes.

7 Bibliografía

- Acuña, I. V. (14 de Febrero de 2012). *Chavesbao*. Recuperado el 05 de Abril de 2016, de www.chavesbao.com:
http://www.chavesbao.com/pdf/catal_tec/FC-CH-007.pdf
- Cano, R. (27 de Abril de 2007). *Cofan*. Recuperado el 13 de Marzo de 2017, de www.cofan.es: <http://blog.cofan.es/blog/2012/10/23/historia-de-el-tornillo/>
- Casanova, F. (2009 de Agosto de 26). *Historias de nuestra historia*. Recuperado el 26 de Marzo de 2016, de www.hdnh.es:
<http://hdnh.es/inventos-el-tornillo/>
- Galán, A. G. (16 de Marzo de 2008). *eHow en español*. Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de www.eHowenespanol.com:
http://www.ehowenespanol.com/diferencias-tornillos-autorroscantes-autoperforantes-lista_469734/
- JJ. (17 de Marzo de 2005). *La web de las biografías*. Recuperado el 17 de Marzo de 2016, de [mcbiografias: www.mcbiografias.com](http://www.mcbiografias.com)
- JJTorres. (2014 de Marzo de 2014). *Hipertextual*. Recuperado el 27 de Abril de 2016, de www.hipertextual.com:
<http://hipertextual.com/archivo/2014/03/hardware-novatos-arduino/>
- Martín, C. G. (23 de Septiembre de 2010). *Etanco*. Recuperado el 24 de Marzo de 2016, de www.etanco.es: <http://etanco.es/catalogo-pdf/>
- Myers, R. W. (1989). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. (3ª Edición ed.). (A. D. Mata, Trad.) México D.F, México D.F., México: Interamericana.
- Pytel, A. (1994). *Resistencia de materiales*. (F. P. Bocanegra, Ed.) México D.F., México D.F., México: Oxford.
- Rocha, B. (2013 de Octubre de 30). *Prezi*. Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de www.prezi.com: https://prezi.com/e_b8fxqbriem/tratamiento-termico-cementacion/
- Rodriguez, J. L. (03 de Noviembre de 2007). *Estudio y ensayo de materiales*. Recuperado el 03 de Abril de 2016, de <https://www.estudioyensayo.wordpress.com>:
<https://estudioyensayo.files.wordpress.com/2008/11/cementacion.pdf>
- AENOR: Manual Norma ISO 10666:2000. Pp 48-57

- DIN: DIN 7504-K. Pp. 58-62.
- AISI: AISI S905. Pp. 62-66.

